

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND-
UND KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Korbmacher-Steiner
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg, Abteilung für Zahnerhaltungskunde

**Einfluss verschiedener Spüllösungen
auf den Haftverbund des Sealers *Apexit Plus*
zum Wurzelkanalentin**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Sarah Dietrich, geb. Fennig
aus Warburg

Erfurt, 2018

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
19.01.2018

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Priv.-Doz. Dr. Matthias J. Roggendorf

Korreferentin: Prof. Dr. Christine Knabe-Ducheyne

Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver der
Philipps-Universität Marburg
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>

Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer
Creative Commons
Namensnennung
nicht kommerziell
Weitergabe unter gleichen Bedingungen
4.0 International Lizenz.

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	6
1.1 Hintergrund und Ziele	6
1.2 Methodik	6
1.3 Ergebnisse	7
1.4 Schlussfolgerung	7
2 Summary.....	8
2.1 Aim.....	8
2.2 Materials and Methods	8
2.3 Results	8
2.4 Conclusion.....	9
3 Einleitung.....	10
4 Literaturübersicht.....	11
4.1 Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung	11
4.2 Ziele einer endodontischen Therapie	11
4.3 Instrumentarium	11
4.3.1 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung	11
4.3.2 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	13
4.4 Die Schmierschicht	14
4.5 Die Wurzelkanalspülung.....	15
4.6 Wurzelkanalfüllmaterial.....	17
5 Versuchsplanung und Zielsetzung.....	23
5.1 Nullhypothesen	23
6 Material und Methode	24
6.1 Übersicht der Versuchsdurchführung	25
6.2 Auswahl und Bearbeitung der Versuchszähne.....	25
6.3 Spreadervorbereitung	26
6.4 Spülung und Spreaderinsertion	28

6.5	Messreihe	29
6.6	Auswertung Frakturmodi	30
6.7	Statistische Auswertung	30
7	Ergebnisse	31
7.1	Frakturanalyse	33
7.2	Spreaderauswertung	35
8	Diskussion	38
8.1	Diskussion der Methodik	38
8.1.1	Probenauswahl	38
8.1.2	Einfluss der Sealerschichtstärke	39
8.1.3	Einflussfaktor Dentin	40
8.1.4	Methoden zur Untersuchung der Haftkräfte	41
8.1.5	Einfluss von Chelatoren	43
8.2	Diskussion der Ergebnisse	44
8.2.1	Prüfung der Nullhypothesen	44
8.2.2	Haftwerte von <i>Apexit Plus</i>	45
8.2.3	Wirkstoff Chlorhexidindiglukonat	46
9	Schlussfolgerung	47
10	Literaturverzeichnis	48
11	Abkürzungsverzeichnis	57
12	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	58
13	Anhang	60
14	Verzeichnis der akademischen Lehrer	64
15	Danksagung	65

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Der Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung hat viele Ursachen, die nicht immer eindeutig sind. Dem Behandler stehen zahlreiche Herangehensweisen und Medikamente zur Verfügung, um eine endodontische Behandlung durchzuführen.

Sie umfasst das mechanische Aufbereiten des Kanals, das Spülen mit geeigneter Flüssigkeit sowie einen bakterien- und flüssigkeitsdichten Verschluss. Zum einen sollte dieses Material eine Haftkraft zum umgebenden Wurzeldentin ausbilden, zum anderen sollte zum gewählten Kernmaterial ebenfalls eine Adhäsion entstehen [101].

In dieser In-vitro-Studie sollte der Einfluss verschiedener Spüllösungen auf den Haftverbund zwischen Wurzelkanaldentin und dem calciumsalicylatbasierten Sealer *Apexit Plus* untersucht werden.

1.2 Methodik

In dieser Studie wurden 60 extrahierte, kariesfreie und unbehandelte Zahnwurzeln auf fünf Gruppen randomisiert verteilt (n=12). Sie wurden dekapitiert und mit dem maschinellen Feilensystem *BioRaCe* bei einer Arbeitslänge von 8 mm bis .02#60 aufbereitet. Die zuvor gebildeten Gruppen wurden einer Spüllösung zugeteilt: A = Chlorhexidindiglukonat (CHX) 2%, B = Ethylendiamintetraacetat (EDTA) 16%, C = Natriumhypochlorit (NaOCl) 3%, D = Zitronensäure 40%, E = Aqua dest.

Nachdem die Proben mit ihrer zugeordneten Flüssigkeit gespült wurden, erfolgte die sorgfältige Trocknung mit Papierspitzen und anschließendem Einbringen des vorbereiteten Stahlspreaders mit dem zu untersuchenden Sealer.

Die Wurzeln lagerten 14 Tage unter feuchten Bedingungen. Anschließend fanden die Pullout-Tests in einer Universalprüfmaschine statt. Es wurde die maximale Kraft bis zum adhäsiven Versagen bei einer Prüfgeschwindigkeit von 2 mm/min ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine Auswertung der Frakturmodi an den experimentellen Spreadern.

1.3 Ergebnisse

Apexit Plus zeigte in Kombination mit CHX (0,73 MPa) und NaOCl (0,62 MPa) die höchsten Haftwerte. Nach einer Spülung mit EDTA zeigten sich insgesamt die geringsten Haftwerte (0,21 MPa). Es ergab sich ein signifikanter Einfluss der Spülungen auf die Haftwerte (Kruskal-Wallis Test $p=0,034$).

1.4 Schlussfolgerung

Unter den Bedingungen dieser Studie profitierte der Sealer *Apexit Plus* nicht von der Schmierschichtentfernung durch EDTA. Die Spülung führte zu geringen Haftwerten. Der calciumsalicylatbasierte Sealer verhielt sich somit gegensätzlich zu den meisten anderen Wurzelkanalsealern, die in der Regel zu besseren Haftwerten nach Schmierschichtentfernung gelangen.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie mit *Apexit Plus* ist eine alleinige Spülung mit EDTA nicht empfehlenswert. Ob *Apexit Plus* eine Verbesserung der Haftkraft durch eine zusätzliche Spülung mit CHX erlangen kann, war nicht Ziel dieser Arbeit und ist anderweitig zu erforschen.

2 Summary

2.1 Aim

The failure of a root canal treatment has several causes, but it is not always certain which one is responsible. To carry out the endodontic treatment, there are numerous procedures and pharmaceuticals available. It includes shaping, disinfection with suitable irrigants and a hermetic seal.

The material should provide good adhesion to both root canal dentin and core material as well [101].

The aim of this in vitro study was to investigate the influence of different irrigations on the bond strength of calciumsalicylate-based sealer *Apexit Plus* and the root canal dentin.

2.2 Materials and Methods

In this study 60 extracted and intact roots were randomly split into five groups (n=12). Their length was reduced and every canal was prepared with the *BioRaCe* instruments at a working length of 8 mm until .02#60. Afterwards the groups were allocated to an irrigation: A = chlorhexidine digluconate (CHX) 2%, B = EDTA 16%, C = NaOCl 3%, D = citric acid 40%, E = aqua dest.

After irrigating with their fluid, the samples were dried with paper points. Subsequently, the experimental spreaders were inserted with the sealer. The teeth were stored for 14 days in 100% humidity until the pullout tests took place, using an universal testing machine.

The maximum force until adhesive failure was determined at an experimental speed of 2 mm/min. Additionally, the fracture modes of the spreaders were evaluated.

2.3 Results

In combination with CHX (0,73MPa) and NaOCl (0,62 MPa) *Apexit Plus* led to the highest bond strength. After irrigation with EDTA there were the lowest values (0,21

MPa). It showed a significant influence between irrigation and bond strength (Kruskal-Wallis-Test $p=0,034$).

2.4 Conclusion

Within these conditions of this study, *Apexit Plus* does not benefit from smearlayer removal by EDTA. On the contrary, it led to less bond strength. The calciumsalicylate-based sealer behaves oppositely to most other root canal sealers, which usually acquire better results under the removal of the smearlayer.

Based on the results of this study with *Apexit Plus*, the single irrigation with EDTA is not recommendable. If there could be an improvement of bond strength when additionally using CHX, was not aim of the study and further research is required.

3 Einleitung

Die Wurzelkanalbehandlung hat einen essentiellen Stellenwert in der konservierenden Zahnheilkunde. Ziel der Endodontie ist es, Zähne auch nach einer Entzündung oder Infektion der Pulpa zu erhalten. Dies kann nur ermöglicht werden, indem vitales, infiziertes oder nekrotisches Pulpagewebe möglichst vollständig mit chemischen und mechanischen Methoden entfernt wird. Eine Keimfreiheit des Wurzelkanalsystems wird hierbei angestrebt [99].

Bei der mechanischen Aufbereitung ist es wichtig, die Wurzelkanalkonfiguration zu wahren und bei einer konischen Bearbeitung von koronal nach apikal die apikale Konstriktion einzuhalten. Die zuvor bestimmte Arbeitslänge sollte eingehalten werden [24].

Durch zahlreiche akzessorische Kanäle und kleine Abzweigungen ist eine zusätzliche chemische Bearbeitung der Kanäle unabdingbar für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung, wobei je nach Anforderung unterschiedliche Spüllösungen zur Verfügung stehen [87].

Sie sollten das Wurzelkanalsystem desinfizieren, Schmierschicht und Gewebe auflösen sowie biologisch verträglich sein [26]. Neben der Aufbereitung des Endodonts ist eine anschließende Wurzelkanalfüllung, welche die geschaffenen Hohlräume dicht verschließt und eine bakterielle Invasion verhindert, unerlässlich [50].

Deshalb ist eine gewisse Adhäsion am Wurzelkanaldentin und dem verwendeten Kernmaterial erwünscht; als Standardmethode gilt eine Kombination aus Guttapercha und geeigneter Füllpaste [55]. Durch die vorhergehende profunde Karies mit erforderlicher Wurzelkanalbehandlung wird ein Zahn in seiner Substanz geschwächt, da notwendigerweise wichtige Strukturen entfernt werden. Die Stabilisierung durch die einzelnen Komponenten der Wurzelfüllung ist demnach eine wichtige Behandlungsmaßnahme [8, 94].

Ziel dieser Arbeit war es, die Verbundfestigkeit des calciumsalicylatbasierten Sealers *Apexit Plus* zum Wurzeldentin nach unterschiedlichen Spülungen zu beurteilen.

4 Literaturübersicht

4.1 Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung

Endodontische Maßnahmen zur Zahnerhaltung sind erforderlich bei irreversibel geschädigter Pulpa mit oder ohne röntgenologischem Nachweis auf Beteiligung des periapikalen Gewebes, sowie bei chirurgischen Maßnahmen wie Wurzelspitzenresektionen und Hemisektionen oder um prothetische Verankerung in Form von Stiftaufbauten zu gewährleisten [24].

4.2 Ziele einer endodontischen Therapie

Vorrangige Ziele der Wurzelkanalbehandlung sind das Entfernen des Pulpagewebes sowie die Zerstörung von Mikroorganismen.

Hierzu wird der Hohlraum zur Aufnahme des Wurzelfüllmaterials unter Beibehaltung der ursprünglichen Wurzelkanalanatomie manuell oder maschinell instrumentiert. Dabei sollte der Kanal von koronal nach apikal einen konischen Verlauf haben. Außerdem ist die gewählte Arbeitslänge entscheidend. Allerdings soll hier weder ein Über- noch Unterinstrumentieren resultieren, um den Erfolg der Therapie nicht einzuschränken [25, 54].

Ein ausreichendes Spülen mit geeigneten Lösungen verbessert zum Einen die Keimeelimination und zum anderen das Abtransportieren des anfallenden Debris, sodass darauf nicht verzichtet werden sollte [33].

4.3 Instrumentarium

Man unterscheidet drei Typen von Edelstahlinstrumenten, die für eine manuelle Wurzelkanalaufbereitung am häufigsten angewendet werden:

4.3.1 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung

K-Feilen

Diese Instrumente weisen einen dreieckigen oder viereckigen Querschnitt auf. Durch Verwindung entsteht ein Schneidekantenwinkel von 25-40° mit eineinhalb bis zwei-

einhalb Umwindungen pro Millimeter. Benutzt werden diese Feilen mit drehender oder feilender Bewegung [99].

K-Feilen zeichnen sich durch relativ hohe Resistenzen gegenüber Torsionsfrakturen aus [121].

Reamer

Genau wie die Feilen werden Reamer aus Verdrillung eines drei- oder viereckigen Edelstahlrohlings gefertigt, wobei sie einen geringeren Schneidekantenwinkel ($10-30^\circ$) aufweisen, da sie mit nur maximal einer Umwindung pro Millimeter hergestellt werden. Sie sind sehr bruchsicher und werden schabend-drehend zum Erschließen von Wurzelkanälen angewendet [49]. Dabei entsteht eine runde Präparationsform [7].

Hedström-Feilen

Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Instrumenten werden diese Feilen aus einem runden Edelstahlrohling gefräst [7]. Sie besitzen eine umlaufende Schneidekante und einen Schneidekantenwinkel von $60-65^\circ$. Bei falscher Anwendung sind die Hedströmfeilen sehr frakturgefährdet, man sollte sie daher nur ziehend bei leichtem Druck an das Kanallumen benutzen [70, 99].

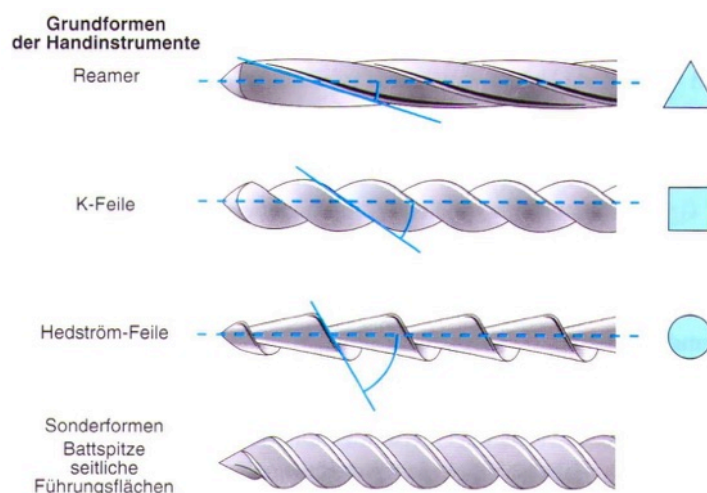


Abb. 1: Grundformen der Handinstrumente zur Aufbereitung des Wurzelkanals mit Darstellung des Schneidekantenwinkels; aus Hellwig E. / Klimek J. / Attin T.: Einführung in die Zahnerhaltung (2009)

4.3.2 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

In zahlreichen Studien wurden maschinelle und manuelle Wurzelkanalinstrumentierungen miteinander verglichen und diskutiert, wobei die Zeitersparnis und der Reinigungseffekt die häufigsten Untersuchungsparameter darstellten.

Die Reinigungseffizienz ist bei den maschinellen Feilensystemen nicht höher als bei den manuellen Feilen [4, 18, 93, 98]. Behandler wählen jedoch gern den maschinellen Aufbereitungsweg, da er die für die Instrumentierung des Wurzelkanals erforderliche Zeit reduzieren kann [3, 43, 93, 106].

Bei gekrümmten Kanälen kann es durch die komplexe Anatomie zu Verlagerung des Kanalverlaufs kommen. Studien beweisen, dass die Aufbereitung mit rotierenden Systemen zu weniger Kanalverlagerung führt [46, 106, 107, 119].

BioRaCe

Das *Basis Set* des *BioRaCe*-Feilensystems (Firma FKG Dentaire) besteht aus sechs Nickel-Titan-Feilen BR0 bis BR5 und kann ergänzt werden durch das *Extended Set* BR4C bis BR7 für stark gekrümmte Kanäle und für die maximale Aufbereitung.

Alle Feilen weisen eine stumpfe, nicht schneidende Spitze bei trigonalem Querschnitt sowie alternierende Schneidekanten auf, die ein Einschrauben in den Wurzelkanal verhindern sollen. Die elektrochemisch polierte Oberfläche sorgt für eine höhere Oberflächenqualität. Zusätzlich haben die Instrumente unterschiedlichen Konizitäten und ISO-Größen, die eine angemessene apikale Aufbereitungsgröße ermöglichen.

Höhere Aufbereitungsgrößen ermöglichen eine signifikante Verbesserung der Reinigung und eine bessere Eliminierung von Mikroorganismen, Debris und Smear layer [76, 77, 90].

Um einen sicheren Ablauf zu gewährleisten wird empfohlen, vor der ersten *BioRaCe*-Feile ein müheloses Erreichen der Arbeitslänge mit einem #15 Handinstrument, z.B. einer K-Feile, zu erzielen. Der Endomotor sollte auf eine Umdrehungszahl von 500-600 U x min⁻¹ eingestellt sein und ein Drehmoment von 1 Ncm nicht über- oder unterschreiten.

Das maschinelle Arbeiten sollte bei einem flüssigkeitsgefüllten Kanal mit maximal vier sanften Pinselbewegungen erfolgen. Die regelmäßige Reinigung der Schneidekan-

ten und das Spülen mit geeigneter Flüssigkeit werden für eine effektive Aufbereitung vorausgesetzt.

Der koronale Abschnitt des Wurzelkanals wird durch die BR0-Feile aufbereitet. Die Instrumente BR1 bis 3 sorgen für die Aufbereitung bis zur Arbeitslänge im mittleren Kanalabschnitt und anschließend erfolgt die apikale Präparation durch die Feilen BR4 bis BR5 bzw. bis BR7, wobei noch unterschieden werden kann in BR4C bis BR5C bei stark gekrümmten Kanälen [36].

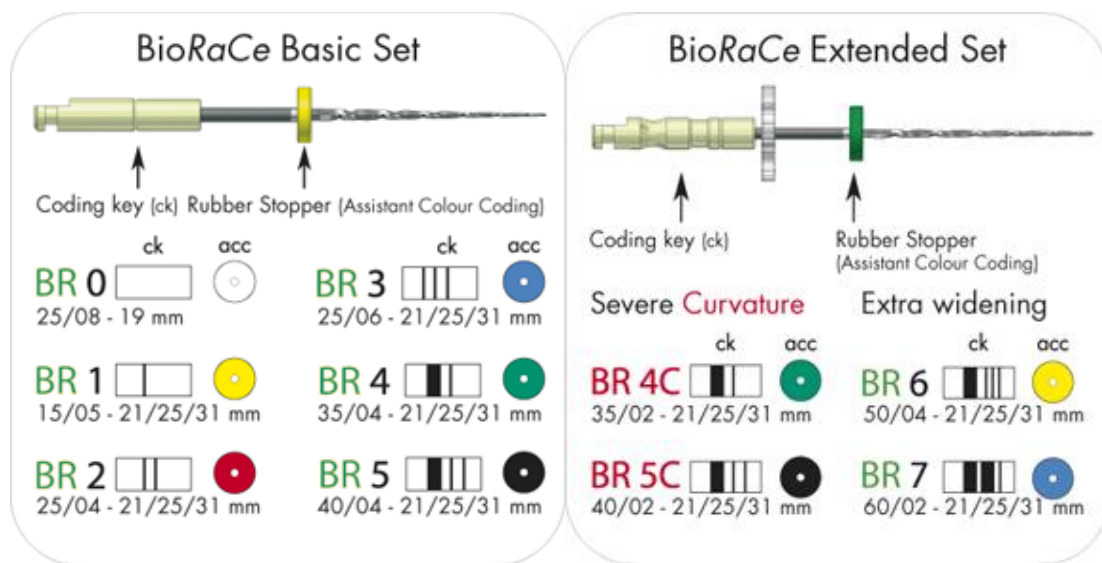


Abb. 2: *BioRaCe* - Basic Set und *BioRaCe* - Extended Set, inkl. Farb- und Schaftcodierung, sowie Taper-, ISO- und Längenangaben (FKG Dentaire).

4.4 Die Schmierschicht

Wie McComb und Smith bereits 1975 beschrieben, entsteht nach mechanischer Bearbeitung des Wurzelkanals eine 1-3 μm dünne Schicht, die primär aus anorganischen, verkalkten Geweberesten und teils organischen Bestandteilen von Pulpa, Bakterien, Odontoblasten, Blutzellen und anderen besteht. Im Rasterelektronenmikroskop erscheint dieser sogenannte Smear layer als unregelmäßig amorphe, körnige Struktur [12, 22, 65, 71, 75].

Kontroverse Diskussionen ergeben sich aus der Anwesenheit des Smear layers, da beim mechanischen Aufbereiten Teile des Debris bis zu 40 μm in die Dentinkanälchen eingepresst werden [88].

Hier besteht einerseits die Meinung, das Verbolzen der Kanalwand sei eine wichtige Voraussetzung für eine dichte Wurzekanalfüllung und verminderte die Permeabilität für Bakterien [29, 39, 66]. Andererseits ist die Mehrheit der Autoren der Ansicht, die verschlossenen Dentinkanälchen könnten nicht suffizient mit Spüllösungen sowie mit Medikamenteneinlagen penetriert werden, außerdem würde der Verbund von Füllmaterial und Kanaloberfläche beeinflusst, da der Sealer nicht in die Dentinkanäle eindringen könne [40, 89, 109, 116, 123].

Eine Untersuchung zeigt jedoch auch, dass die Obturationstechnik im Bezug auf die Anwesenheit der Schmierschicht eine Rolle spielt und sie nicht immer zu einem apikalen Leakage führen muss [37].

Durch die mögliche Bakterienansammlung bei infizierter Pulpa kann weiterhin Substrat aus dem Biofilm für die Bakterien zur Verfügung stehen und so die Desinfektion des Kanals behindern [40].

Um den bei der mechanischen Aufbereitung entstehenden Smear layer zu entfernen sowie das enthaltene Pulpagewebe zu beseitigen, bedient man sich verschiedener Spülungen. Natriumhypochlorit löst organische Bestandteile, die Chelatbildner Zitronensäure und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) entfernen die anorganischen Komponenten [27, 133].

4.5 Die Wurzelkanalspülung

Neben der mechanischen Bearbeitung der Zahnschubstanz stellt die chemische Bearbeitung mittels geeigneter Spülungen einen wichtigen Arbeitsschritt in der Endodontie dar. In einer gemeinsamen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) werden folgende Anforderungen und Ziele an die Spülungen gestellt [26]:

- Desinfektionswirkung
- Biologische Verträglichkeit
- Gewebeauflösende Wirkung
- Einfache Applizierbarkeit
- Reduktion der Keime und bakteriellen Toxine im Wurzelkanalsystem
- Auflösung und Entfernung von Resten des Pulpagewebes

- Unterstützung der mechanischen Aufbereitung und Abtransport von Dentinspänen

Die Dentalindustrie bietet zahlreiche Flüssigkeiten an, wobei sich fünf Spüllösungen als am häufigsten benutzt herausstellen: CHX, EDTA, H₂O₂, NaOCl und Zitronensäure.

Für die korrekte Anwendung ist Voraussetzung, dass die Arbeitslänge bestimmt wurde, sodass einerseits ein Überpressen der Spülflüssigkeit ausgeschlossen wird und andererseits eine ausreichende Penetration bis in Apexnähe gewährleistet werden kann. Es werden Spülkanülen mit einem Durchmesser von 0,3 bis 0,4 mm empfohlen, die ohne ein Verklemmen bis ca. 4 mm vor den Apex eingeführt werden können. Der Flüssigkeitsstrom erfolgt bis ca. 1 mm über die Kanülenspitze hinaus. Hierbei ist auf einen angemessenen Druck zu achten.

Bei der Effektivität der Spüllösung spielen außerdem Konzentration, Einwirkzeit, Temperatur, Menge und Dauer der Applikation eine große Rolle [9, 26, 54].

Tab. 1: Wurzelkanalspülungen und ihre Eigenschaften [135]

CHX (Chlorhexidinglukonat)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzuwenden in einer Konzentration zwischen 0,2 bis 2% • Gute antimikrobielle Wirkung • Hohe Wirkung auf grampositive Keime, die bei Revisionen häufig auftreten und gegen NaOCl und Calciumhydroxid resistent sind • Gute Bioverträglichkeit • Nicht als alleinige Spülung empfohlen • Nicht gewebeauflösend • Keine Wirkung gegen Endotoxine
NaOCl (Natriumhypochlorit)	<ul style="list-style-type: none"> • Zwischen 0,5 bis 5% anzuwenden • Sehr gute antimikrobielle Wirkung • Stark gewebeauflösend • Wirkung gegen Endotoxine • Gute Bioverträglichkeit
EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure)	<ul style="list-style-type: none"> • In Konzentrationen bis 17% anwendbar • Nicht als alleinige Spülung empfohlen • Entfernt die Schmierschicht • Ist nicht gewebeauflösend • Nur mäßig antimikrobielle Wirkung
Zitronensäure	<ul style="list-style-type: none"> • In Konzentrationen <30% anzuwenden • Entfernt die Schmierschicht • Nicht als alleinige Spülung empfohlen
H₂O₂ (Wasserstoffperoxid)	<ul style="list-style-type: none"> • In Konzentrationen zwischen 3 bis 5% • Kaum antimikrobielle Eigenschaften • Wird heute als obsolet betrachtet

4.6 Wurzelkanalfüllmaterial

Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung hängt entscheidend von der Wurzelkanalfüllung ab. Um den Therapieerfolg zu sichern, wird ein dichter Verschluss gegenüber Mikroorganismen und Flüssigkeiten sowohl aus dem periapikalen und koronalen, als auch aus lateralen Bereichen angestrebt. Mithilfe von geeigneten Füllmaterialien wird das Kanalsystem hermetisch verschlossen [47, 61].

Hierzu zählt eine Kombination aus einem pastenartigen Sealer und einem festeren Kernmaterial, zumeist Guttaperchastiften. Der Sealer hat zur Aufgabe, Inkongruenzen zwischen Kanaloberfläche und Kernmaterial zu füllen, weil Guttaperchastifte dies allein nicht gewährleisten.

Die Verwendung sollte nur in Kombination der beiden Materialien erfolgen, da das Weglassen einer Komponente kein suffizientes Verschließen ermöglicht [7, 23].

Tab. 2: Übersicht über die verschiedenen Wurzelfüllmaterialien

Sealer	<ul style="list-style-type: none"> • Calciumhydroxidhaltig • Glasionomerzementbasis • Kunstharzbasis • Zinkoxideugenolhaltig • Polyketone • Polydimethylsiloxane • Adhäsive Systeme (Komposite) • bioaktive Systeme (Tricalciumsilikatbasis)
Kernmaterial	<ul style="list-style-type: none"> • Guttaperchastifte • Kunststoffstifte • Metallstifte • Goldstifte • Titanstifte • Silberstifte

Die idealen Eigenschaften, die ein Sealer mitbringen sollte, hat Grossman 1982 beschrieben [45]. Allerdings ist es der Industrie noch nicht vollständig gelungen, alle Anforderungen zu erfüllen:

- Gute Haftung
- Hermetisch verschließen
- Radioopazität aufweisen
- Einfache Anmischbarkeit ermöglichen
- Volumenstabil sein

- Nicht zahnverfärbend
- Bakteriostatisch sein oder zumindest nicht das Bakterienwachstum begünstigen
- Langsam aushärten
- Unlöslich in Gewebeflüssigkeiten sein
- Im Falle einer Revision mittels Lösungsmittel aufgelöst werden können
- Biokompatibel sein

Sealer auf Calciumsalicylatbasis

Apexit, *Apexit Plus* (Ivoclar Vivadent) und *Sealapex* (Kerr) sind Vertreter dieser Gruppe. Die Verarbeitungszeit von *Apexit Plus* beträgt 3 Stunden, die Abbindezeit ca. 2 Stunden. Die Abbindereaktion beruht auf Chelatbildung zwischen Ca^{2+} und Salicylsäure.

Calciumhydroxid wurde bereits 1920 erstmals von Hermann in der Zahnmedizin im Bezug auf die Fähigkeit zur Pulpenreparatur erwähnt, jedoch hat Rhoner erst 1940 das Material zur Wurzelfüllung klinisch verwendet [52, 68].

Calciumhydroxid ist im Stande, Hartgewebsneubildung zu induzieren und verhindert externe Wurzelresorptionen, indem es mit dem periradikulären Gewebe kommuniziert [124, 125]. Heutzutage wird es benutzt bei Apexifikationstechniken, als intrakanaläre Einlage, zur Pulpenüberkappung und ist ferner Bestandteil von Wurzelkanalsealern [50].

Die Studienlage über calciumsalicylatbasierte Sealer ist nicht in allen Punkten eindeutig, sodass man häufig kontroverse Ergebnisse findet.

Im Bezug auf die Dichtigkeit von Sealern wurde in einigen Studien kein signifikanter Unterschied zwischen den calciumsalicylat- und den epoxidharzbasierten sowie den zinkoxideugenolhaltigen Sealern festgestellt [56, 112]. Salz et al. haben in einer Vergleichsstudie zwischen *AH Plus* und *Apexit Plus* einen signifikanten Unterschied im Bezug auf die Bakteriendichte zugunsten des *Apexit Plus* festgestellt und damit bessere Sealereigenschaften [102].

Feuchtigkeit hat Einfluss auf die Dichte eines Sealers, wobei *Apexit Plus*, *Tubuli-Seal* und *RoekoSeal* weniger beeinflusst werden als *AH Plus* und *Ketac-Endo* [95]. Im Gegensatz dazu beschreiben andere Autoren ein schlechteres Sealerverhalten des Calciumsalicylat-Sealers [78, 122].

Neben dem hermetischen Verschluss ist eine gewisse antibakterielle Wirkung erwünscht. Hierbei kamen zahlreiche Studien auf ein im Vergleich durchschnittliches Ergebnis bei den Calciumsalicylatpräparaten, wobei die Ergebnisse je nach Art der eingesetzten Mikroorganismus und Versuchstechnik variieren können [92, 111, 117]. Die Gewebeverträglichkeit ist als gut einzustufen [64].

Verglichen mit den Epoxidharz-Präparaten schneiden die Ca(OH)_2 -Sealer bei den Haftwerten meist schlechter ab [35, 38].

Sealer auf Epoxidharzbasis

Die bekanntesten Vertreter dieser Gruppe sind *AH 26* und *AH Plus* (DeTrey Dentsply). Die Verarbeitungszeit beträgt 4 Stunden. Der Abbindeprozess des *AH 26* beruht auf einer Polykondensationsreaktion, sein Nachfolger *AH Plus* härtet durch eine Epoxid-Amin-Additionspolymerisation innerhalb von 24 Stunden aus.

Es wird allerdings von der Verwendung von *AH 26* abgeraten, da eine gewebstoxische Wirkung durch Formaldehydfreisetzung nachgewiesen wurde [53].

Der Nachfolger *AH Plus* besitzt im Gegensatz dazu sehr gute Werte in Dentinhaftung, Abdichtevermögen, Volumenbeständigkeit sowie Biokompatibilität nach der Aushärtung und wird daher in klinischen Studien häufig als Referenzmaterial verwendet sowie als Goldstandard bezeichnet [64, 83, 108].

Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis

Die Sealer dieser Gruppe sind weit verbreitet und werden schon lange in der Praxis verwendet. Bereits Grossman stellte diesen Sealer 1958 vor, sodass er als Standard in der Endodontie galt [45]. Vertreter sind *Grossman's Cement* (Standard Dental), *Pulp Canal Sealer* und *Tubli-Seal* (Kerr), *Roth 501* und *Roth 801* (Roth Drug Co.), *Hermetic* (lege artis) sowie *Endomethasone* (Septodont).

Das Erhärten des Gemisches aus Pulver und Flüssigkeit basiert auf der Bildung eines Zinkeugenolates [129]. In Abdichtungsvermögen und Schrumpfungsverhalten zeigten die Sealer akzeptable Werte [82], allerdings sind sie löslich in Gewebeflüssigkeit,

sodass nur in Kombination mit einem geeigneten Kernmaterial eine suffiziente Abdichtung und lange Randständigkeit erzielt wird [84, 127].

Da Eugenol neurotoxische, zytotoxische und allergisierende Wirkung hat, sollte ein Überpressen des Materials unbedingt verhindert werden [5, 59, 134].

Sealer auf Glasionomerzementbasis

Diese Sealer gehen eine chemische Verbindung mit dem Wurzeldentin ein, sodass sie hohes Abdichtungspotential und gute Stabilisierung aufweisen [69]. Diese Eigenschaft kann jedoch nachteilig bei Revisionen sein. Das Aushärten erfolgt unter einer Säure-Base-Reaktion. Die glasionomerhaltigen Sealer weisen eine gute Biokompatibilität auf [136]. Präparate dieser Gruppe sind *Ketac-Endo* (Espe), *Endion* (Voco) und *Activ GP Sealer* (Brasseler USA).

Sealer auf Polydimethylsiloxan-Basis

Diese neueren Sealer aus additionsvernetzten Silikonen zeigen in den bisherigen Studien sehr gute Ergebnisse in Randständigkeit, Biokompatibilität, Expansionsverhalten und Gewebelöslichkeit. Zum Teil werden sogar die Ergebnisse von *AH Plus* erreicht oder übertroffen [13, 31, 131]. *RoekoSeal* (Roeko) und *GuttaFlow*, die Weiterentwicklung von *RoekoSeal*, sind Vertreter dieser Sealergruppe.

Sealer auf adhäsiver Basis

Als relativ neue Generation wurden selbstätzende, selbstklebende und dualhärtende Sealer entwickelt, darunter *Hybrid Root SEAL* (J. Morita), *MetaSeal* (Parkell Inc., USA) und *RealSeal SE* (SybronEndo, USA). Diese *All-in-one*-Systeme bestehen aus der Kombination von Ätzmittel, Primer und Sealer. Es entsteht eine kompakte Einheit (sog. Monoblock) [118].

Die Applikationszeit und das Auftreten von Fehlern zwischen den einzelnen Bonding-Schritten sollen verhindert werden [62]. Abdichtungsvermögen und Randständigkeit weisen gute Ergebnisse auf [32, 51, 110], genauso wie die Bioverträglichkeit [11].

Jedoch werden die selbststützenden Fähigkeiten dieser Materialien in der Literatur kontrovers diskutiert und als limitiert angesehen. Die Ergebnisse schwanken je nach An- oder Abwesenheit des Smear layers stark, sodass die Sealereigenschaften gefährdet werden [72].

5 Versuchsplanung und Zielsetzung

Das Spülprotokoll kann Einfluss auf den Verbund von Wurzelentin und dem verwendeten Sealer nehmen. In dieser In-vitro-Studie sollte ermittelt werden, ob verschiedene Spüllösungen die Haftkraft zwischen Wurzelkanalentin und dem calciumsalicylatbasierten Sealer *Apexit Plus* beeinflussen.

Es wurden 60 extrahierte Zahnwurzeln auf fünf Gruppen randomisiert verteilt (n=12). Sie sollten dekapitiert und mit dem maschinellen Feilensystem *BioRaCe* bei einer Arbeitslänge von 8 mm bis .02#60 aufbereitet werden. Die zuvor gebildeten Gruppen wurden anschließend einer Spüllösung zugeteilt: A = CHX 2%, B = EDTA 16%, C = NaOCl 3%, D = Zitronensäure 40%, E = Aqua dest.

Nachdem die Proben mit ihrer zugeordneten Flüssigkeit gespült wurden, erfolgte die sorgfältige Trocknung mit Papierspitzen und anschließendem Einbringen des vorbereiteten Stahlspreaders mit dem zu untersuchenden Sealer. Die Wurzeln wurden 14 Tage unter feuchten Bedingungen gelagert und somit das Mundmilieu nachgeahmt. Im Anschluss erfolgten die Pullout-Tests in einer Universalprüfmaschine. Zusätzlich erfolgte eine mikroskopische Auswertung der unterschiedlich auftretenden Frakturmodi an den experimentellen Spreadern.

5.1 Nullhypothesen

Folgende Nullhypothesen sollen überprüft werden:

1. Verschiedene Spülungen haben keinen Einfluss auf den Haftverbund zwischen Wurzelkanalentin und dem Sealer *Apexit Plus*.

2. Die Spülung mit Chelatoren bewirkt keinen Unterschied im Bezug auf die Haftfestigkeit.

3. Der Frakturmodus ist nach erfolgtem Pullout-Test nach visueller Beurteilung in den experimentellen Gruppen identisch.

6 Material und Methode

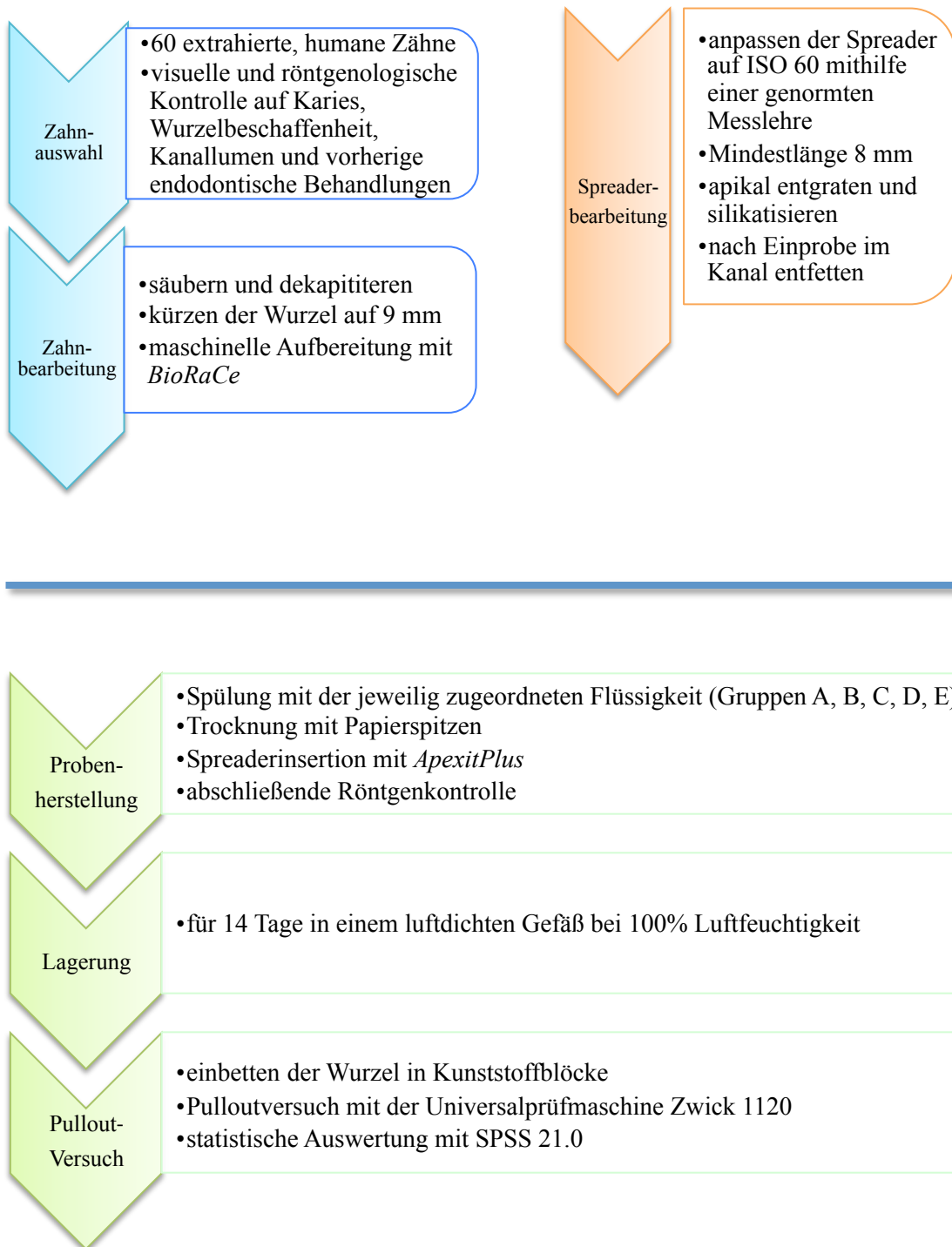


Abb. 3: Flowchart des Versuchaufbaus

6.1 Übersicht der Versuchsdurchführung

Für die Durchführung der Versuche wurden 60 extrahierte humane, unbehandelte und kariesfreie Zahnwurzeln auf fünf Gruppen (A bis E) randomisiert aufgeteilt (n=12). Die Zahnkronen wurden bei einer Wurzellänge von 9 mm abgetrennt, sodass sich bei dem späteren maschinellen Aufbereiten eine Arbeitslänge von 8 mm ergab.

Die zuvor gebildeten Gruppen wurden nun einer von fünf Wurzelkanalspülungen zugeteilt:

A = CHX (2%)

B = EDTA (16%)

C = NaOCl (3%)

D = Zitronensäure (40%)

E = Aqua dest.. (Kontrollgruppe)

Nach erfolgter Spülung wurden die Kanäle mit Papierspitzen getrocknet und ein Spreader mit dem Sealer *Apexit Plus* eingebracht, sodass nach 14-tägiger Aushärtungsdauer die Pullout-Tests durchgeführt werden konnten.

Tab. 3: Inhaltsstoffe des verwendeten Sealers

<i>Apexit Plus</i>	Base	Activator
	<ul style="list-style-type: none"> Calciumhydroxid / Calciumoxid hydriertes Collophonium, Füller andere Hilfsstoffe (hochdisperses Siliciumdioxid, Phosphorsäure - Alkylester) 	<ul style="list-style-type: none"> Disalicylat Bismuthhydroxid / Bismutcarbonat Füller andere Hilfsstoffe
Anwendung	Paste–Paste–System mit selbstmischender Doppelspitze	

6.2 Auswahl und Bearbeitung der Versuchszähne

Sobald die Zähne extrahiert wurden, lagerten sie in einer Chloramin-T-Lösung (0,5%). Die Kriterien zur Auswahl beschränkten sich auf ein abgeschlossenes Wurzelwachs-

tum, gerade und kariesfreie Wurzeln ohne Anzeichen von Fraktur oder endodontischer Behandlung. Um das Lumen und die Beschaffenheit der Kanäle genauer beurteilen zu können, wurden die vorausgewählten Zähne geröntgt und bei nicht Erfüllen der Kriterien gegebenenfalls ersetzt. Die Wurzeln wurden von anhaftendem Desmodont und Belägen mit einem Scaler (Hu-Friedy) und einem Skalpell (B. Braun) befreit.

Anschließend wurden die Zahnkronen mit einem grobkörnigen, zylindrischen Diamanten unter Wasserkühlung im roten Winkelstück abgetrennt, sodass eine Wurzellänge von ca. 9 mm erhalten blieb.

Die Gängigkeit des Wurzelkanals wurde mit einer C-Pilotfeile ISO 15 (VDW) überprüft und danach mit dem *BioRaCe*-System bis zu der Größe BR7/ ISO 60 und einer Konizität von 2% (.02/#60) unter Beachtung der Arbeitslänge von 8 mm aufbereitet. Zwischen den einzelnen Feilen wurde mit der Pilotfeile ISO 15 rekapituliert und mit Aqua dest. die anfallende Späne herausgespült.

Die Wurzeln mussten zwischen den einzelnen Arbeitsschritten und über Nacht feucht gelagert werden. Dazu dienten luftdicht verschließbare Eppendorfgefäße mit einem Tropfen Chloramin-T-Lösung auf einem Schaumstoffpellet.



Abb. 4: *BioRaCe*-Feilen-Basis-Set

6.3 Spreadervorbereitung

60 Spreader-Rohlinge der ISO Größe 25 wurden nun an die benötigte ISO 60 mittels Rotringdiamant und einer genormten Messlehre (Dentsply Maillefer) angepasst. Anschließend wurde das Spreaderende mit einem Finierer entgratet und abgerundet. Diese

Rohlinge wurden in den aufbereiteten Kanal gebracht um zu prüfen, ob minimale Friktion und die Insertionslänge von 8 mm gegeben ist. Um die Spreader auf die Befestigung im Kanal mit dem Sealer abschließend vorzubereiten, wurden diese mit Ethanol entfettet und ca. eine Minute mit dem *Rocatec*-System silikatisiert (*Rocatec*, 3M ES-PE).



Abb. 5: Normierung der Spreader auf ISO 60 mittels Messlehre

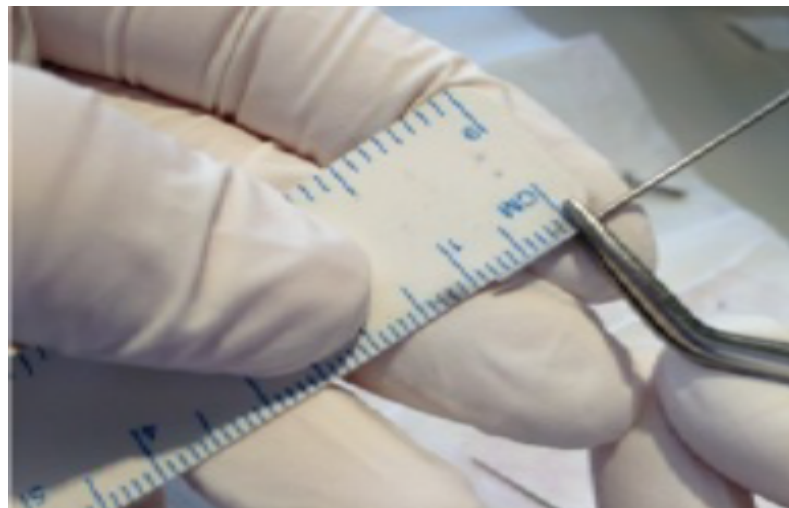


Abb. 6: Anpassen der Spreader

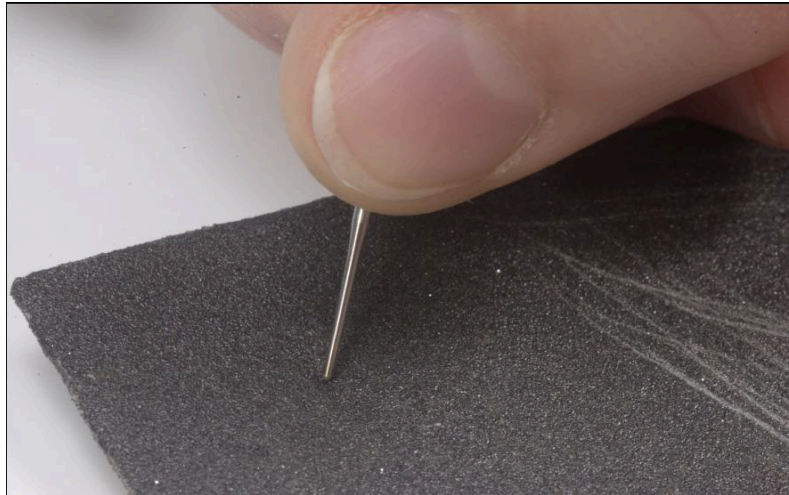


Abb. 7 Entgraten der Spreader

6.4 Spülung und Spreaderinsertion

Die Abschlussspülung erfolgte dann anhand der zugeteilten Spülung (siehe Tabelle 4) für jeweils 3 Minuten mit 5 ml Flüssigkeit in einer Einmalspritze mit aufgesteckter Endokanüle (Endoneedle, Dr. Buquet) unter gleichmäßigen Auf- und Abbewegungen. Anschließend erfolgte die Trocknung des Kanals mit Papierspitzen in ISO 60 (Roeko, Coltène/Whaledent).

Nun wurde der Sealer *Apexit Plus* streng nach Herstellerangaben angemischt und mittels Lentulo blasenfrei in den Kanal eingebracht. Zügig wurden die Spreader inseriert, leicht kurz angedrückt sowie die Sealerüberschüsse mit einem Schaumstoffpellet entfernt.

Gelagert wurden die Proben einzeln und senkrecht in Eppendorf-Gefäßen, die mit je einem Schaumstoffpellet und einer Probe bestückt nach dem Verschließen in einem Thermoschrank eine feuchte Kammer imitierten, damit der Sealer unter Bedingungen des Mundmilieus für 14 Tage aushärten konnte.

Tab. 4 Spül- und Füllprotokoll

Gruppe	Spülung	Menge / Zeit	Trocknung	Kanalfüllung
A	CHX 2%	5ml / 3 min.	bis keine Restfeuchte an Papierspitze mehr zu erkennen ist	homogen angemischter Sealer mit Lentulo bei 5 langsamen Pumpbewegungen einbringen, Spreader leicht andrücken für 3 s
B	EDTA 16%			
C	NaOCl 3%			
D	Zitronens. 40%			
E	Aqua dest.			

6.5 Messreihe

Um die Kraft zu ermitteln, die für das Herausziehen des Spreaders aus der Wurzel benötigt wird, wurde die Prüfmaschine *Zwick 1120* (Zwick Roell) verwendet. In dieser wurde der Spreader mit anhängendem Zahn in ein Bohrfutter (Metabo) gespannt und gegen einen horizontalen Widerstand gezogen.

Die ansteigende Zugkraft wirkte auf die Längsachse des Spreaders, sodass dieser sich bei einer bestimmten Kraft (MPa) aus dem Zahn löste.

Es wurde zu jeder Probe ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm aufgezeichnet.

Folgende Einstellungen wurden an der Prüfmaschine vorgenommen:

Tab. 5 Einstellung der Zwick-Universalprüfmaschine

LE - Geschwindigkeit	300 mm / min
Prüfgeschwindigkeit	2 mm / min
Kraftabschaltwelle	keine
Kraftschwelle für Bruchuntersuchung	0,1 % F _{norm}
Obere Kraftgrenze	50 N
Messlänge Standardweg	50 mm

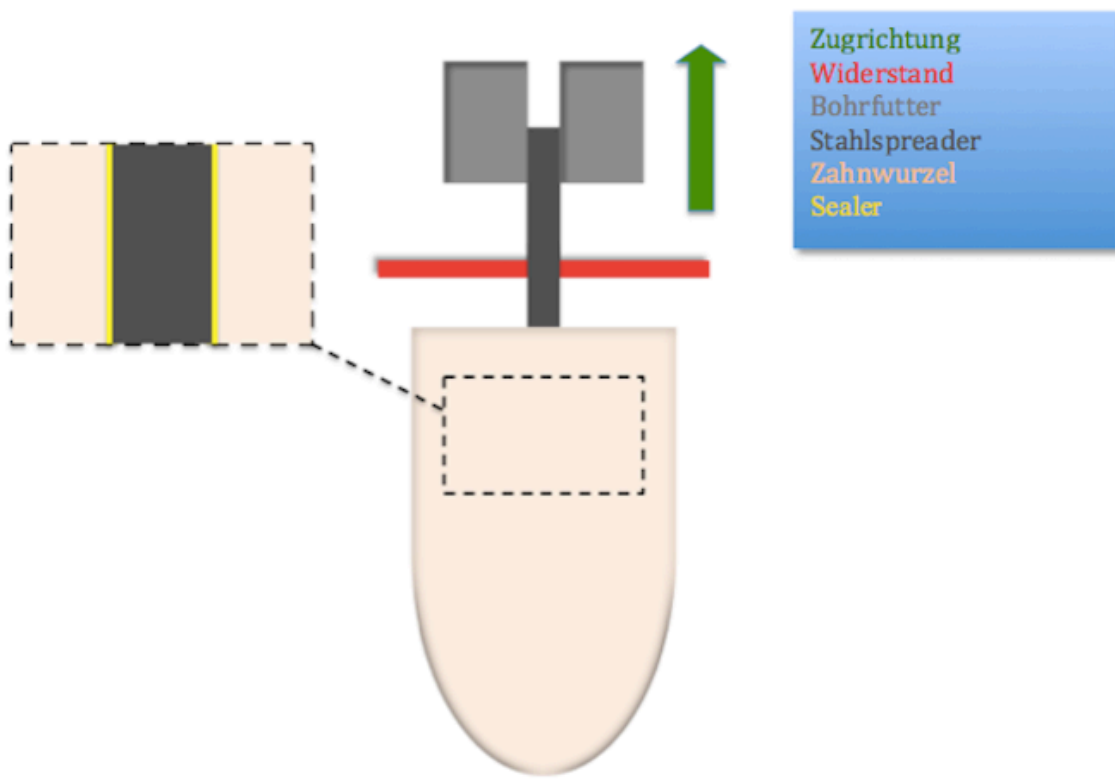


Abb. 8 Schema der Universalprüfmaschine

6.6 Auswertung Frakturmodi

Die von der Prüfmaschine extrudierten Spreader wurden anschließend einer visuellen Untersuchung auf den jeweiligen Frakturmodus unterzogen. Dazu wurden alle Stahlspreader mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 500D mit Canon MP-E 65 mm) von zwei Seiten fotografiert, um sie nachfolgend auswerten zu können.

6.7 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit dem Programm *SPSS* Version 22 für Windows (IBM Inc.).

Nachdem die Werte auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft wurden, ergaben die nicht-parametrischen Tests signifikante Unterschiede der Haftwerte (Kruskal-Wallis $p=0,034$). Der Mann-Whitney-Test verglich die Gruppenpaare miteinander, sodass die Signifikanz-Werte gegenübergestellt werden können.

7 Ergebnisse

Haftfestigkeit des Wurzelkanalsealers *Apexit Plus* [MPa] zum Wurzelkanaldentin

Durch ein Pulloutverfahren nach Ebert et al. (2011) wurden die Haftwerte des Sealers *Apexit Plus* getestet und computergestützt ausgewertet. Anschließend wurden sie zusammenfassend in einem Boxplot-Diagramm dargestellt.

Der Shapiro-Wilk-Test zeigte, dass in den Gruppen teilweise keine Normalverteilung gegeben war, sodass nicht-parametrische Tests angewandt wurden ($p < 0,05$).

Der durchgeführte Kruskal-Wallis-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen den experimentellen Gruppen ($p = 0,034$). In der CHX-Spülgruppe wurden die signifikant höchsten Haftwerte analysiert (Mittelwert 0,73 MPa).

Vergleichbare Haftwerte erreichte die NaOCl-Gruppe. Ihre Ergebnisse lagen beim Mittelwert 0,62 MPa. Die niedrigsten Haftwerte ergaben sich bei den Chelatoren EDTA (0,21 MPa) und Zitronensäure (0,36 MPa). Selbst die Kontrollgruppe Aqua dest. erreichte höhere Werte (0,45 MPa).

Tab. 6: Ergebnisse für die Haftwerte der einzelnen Gruppen

	Mittelwert [MPa]	Median [MPa]	Standard- abweichung [MPa]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Interquartilbereich [MPa]
CHX	0,7317	0,625	0,46611	0,30	1,50	0,81
EDTA	0,2083	0,220	0,7468	0,12	0,29	0,15
NaOCl	0,6200	0,610	0,37510	0,25	1,00	0,00
Zitronensäure	0,3580	0,280	0,23626	0,14	0,67	0,45
Aqua dest.	0,4513	0,305	0,29921	0,20	0,92	0,56

Durch Analyse der einzelnen Gruppen miteinander (Mann-Whitney-Test) wurde ein signifikanter Unterschied der Haftwerte zwischen den Gruppen CHX und EDTA ($p = 0,004$) festgestellt. Eine Signifikanz zwischen Aqua dest. und EDTA ist ebenfalls gerade noch vorhanden ($p = 0,045$).

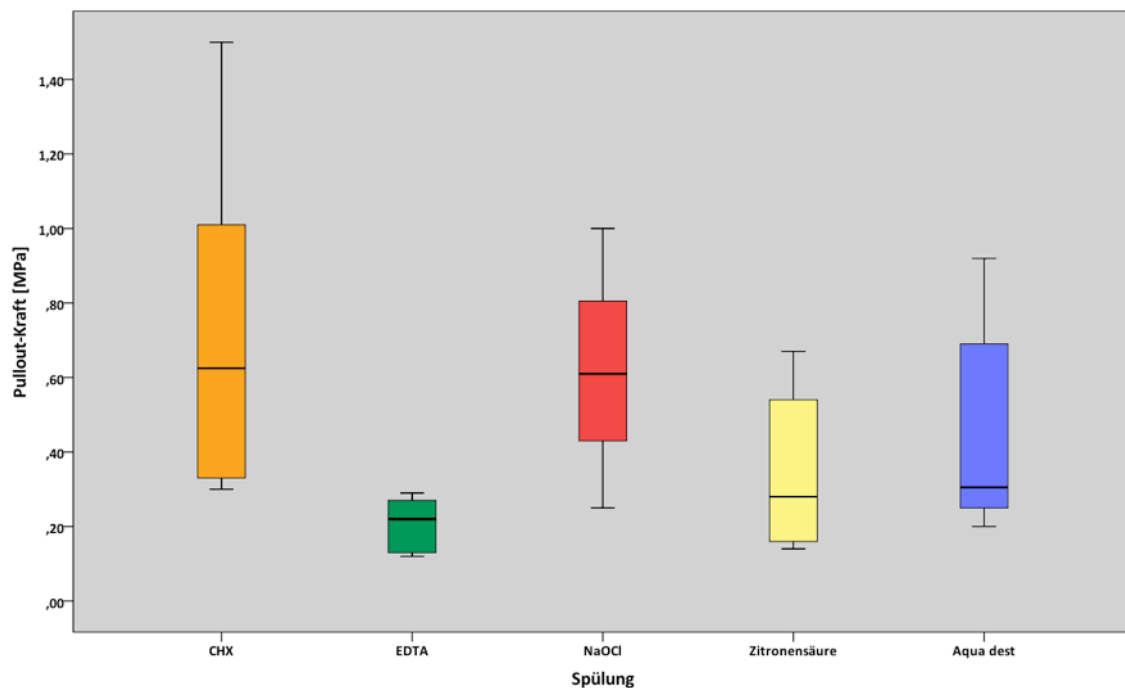
Tab. 7: Signifikanzwerte nach statistischer Analyse mittels Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-Test

(grau hinterlegte Werte = signifikante Unterschiede)

	CHX	EDTA	NaOCl	Zitronensäure	Aqua dest.
CHX	---	0,004	0,606	0,100	0,106
EDTA	0,004	---	0,121	0,273	0,045
NaOCl	0,606	0,121	---	0,297	0,413
Zitronensäure	0,100	0,273	0,297	---	0,464
Aqua dest.	0,106	0,045	0,413	0,464	---
Kruskal-Wallis Test: $p = 0,034$.					

Aus den geringen Haftwerten in den Chelatorengruppen EDTA und Zitronensäure lässt sich schließen, dass sie durch die verwendeten Spülungen beeinflusst wurden.

Die Entfernung der Schmierschicht stellt für den Sealer *ApexitPlus* keine Verbesserung sondern eine Verschlechterung der Haftkraft dar.

Abb. 9: Ergebnisse der Haftwerte von *Apexit Plus*

7.1 Frakturanalyse

Nach den Pullout-Versuchen wurden die Spreader von zwei Seiten fotografiert und anschließend hinsichtlich des vorherrschenden Frakturmodus beurteilt. Man kann drei mögliche Frakturmodi beschreiben: Ein kohäsiver Bruch stellt sich dar, wenn durch Materialversagen eine Fraktur innerhalb des Sealers entsteht. Dies ist erkennbar durch eine dünne, homogene Sealerschicht auf dem Spreader.

Ist der Spreader jedoch blank und ohne Sealerrückstände, spricht dies für einen Adhäsionsbruch zum Sealer. Er entsteht durch Haftverlust zwischen Sealer und Metall.

Eine dicke, inhomogene Sealerschicht auf dem Spreader ist ein Indiz für einen adhäsiven Bruch zum Dentin. Dieser Frakturmodus kam allein nicht vor.

Als gemischte Fraktur wird das Vorliegen von mindestens zwei der oben beschriebenen Modi innerhalb einer Probe bezeichnet. Es lassen sich zusätzlich noch zwei weitere Frakturmodi erwähnen: Zahn- und Spreaderfraktur. Allerdings sind sie in dieser Studie nicht relevant, da sie in keinem Fall aufgetreten waren.

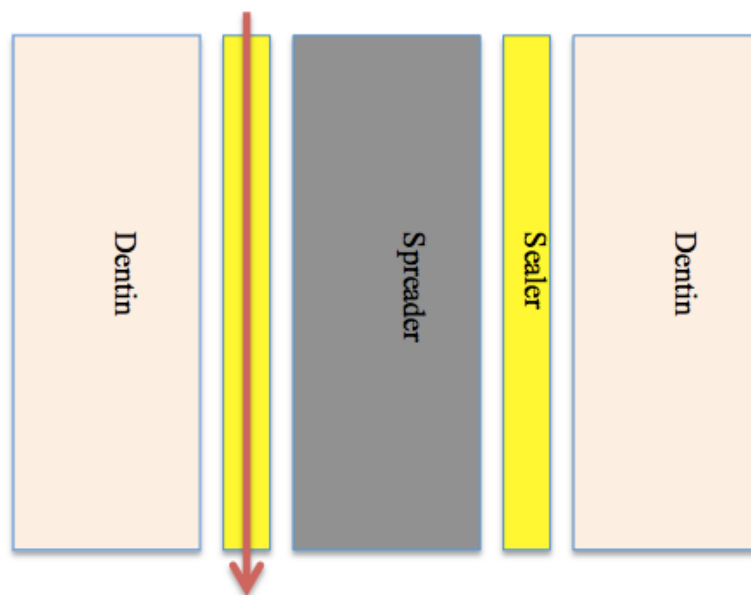


Abb. 10: Frakturschema eines kohäsiven Bruchs

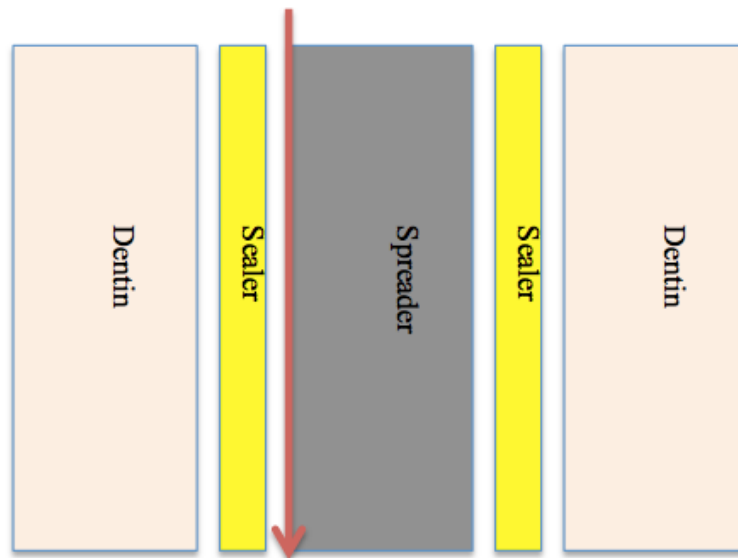


Abb. 11: Frakturschema eines adhäsiven Bruchs zum Spreader

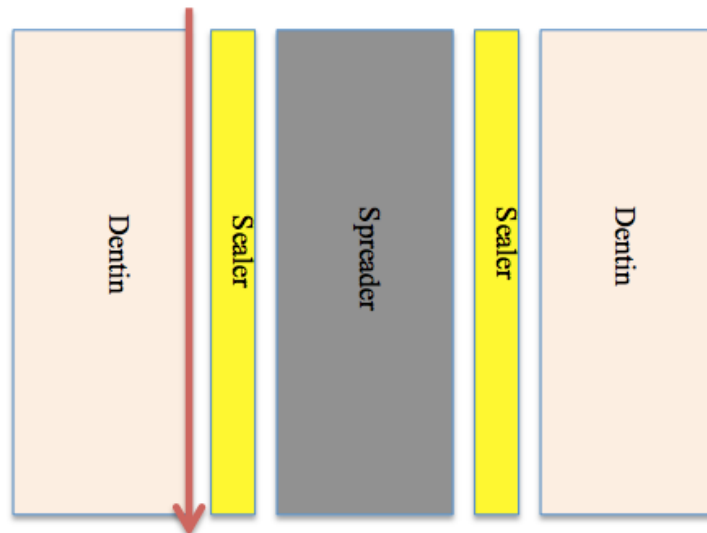


Abb. 12: Frakturschema eines adhäsiven Bruchs zum Dentin

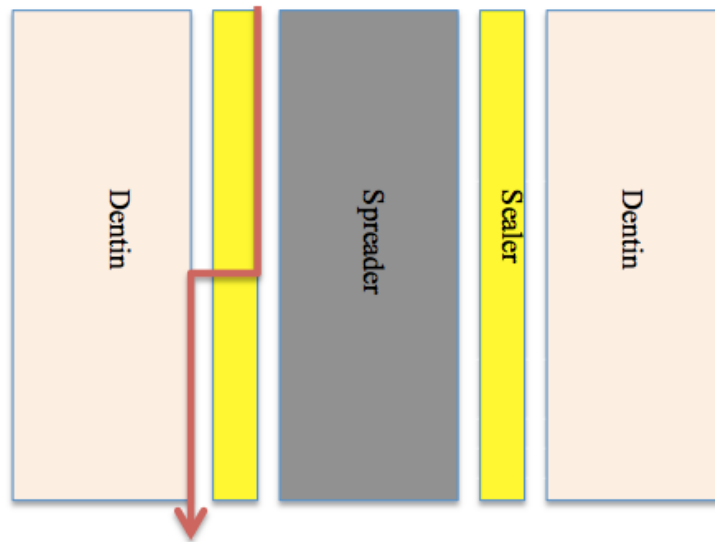


Abb. 13 Frakturschema eines gemischten Bruchs

7.2 Spreaderauswertung

Die CHX-Gruppe wies ausschließlich gemischte Frakturen auf. In den Gruppen EDTA und Aqua dest. waren als einzige auch kohäsive Brüche innerhalb des Sealers zu beobachten. In den Gruppen Aqua dest., Zitronensäure und CHX überwog der gemischte Frakturmodus, bei EDTA und NaOCl versagte der Haftverbund zwischen Spreader und Sealer am häufigsten (Adhäsionsbruch zum Spreader).

Alle Gruppen zusammen genommen, kamen am häufigsten gemischte Frakturen zustande, gefolgt von Adhäsionsbrüchen und am wenigsten die Kohäsionsfrakturen. Eine eindeutige Korrelation zwischen Frakturmodus und Spülprotokoll ließ sich aus der Spreaderauswertung nicht erkennen. Zahn- oder Spreaderfrakturen kamen nicht vor.



Abb. 14: Exemplarische Darstellung des kohäsiven Frakturmodus (Gruppe E, Probe 1)



Abb. 15: Exemplarische Darstellung des adhäsiven Frakturmodus (Gruppe B, Probe 2)



Abb. 16: Exemplarische Darstellung des gemischten Frakturmodus (Gruppe D, Probe 6)

Tab. 8: Prozentuale Verteilung der Frakturmodi

	CHX	EDTA	NaOCl	Zitronensäure	Aqua dest.
Adhäsionsfraktur zum Spreader	-	41,7%	66,7%	33,3%	33,3%
Kohäsionsfraktur	-	25%	-	-	25%
Gemischte Fraktur	100%	33,3%	33,3%	66,7%	41,7%

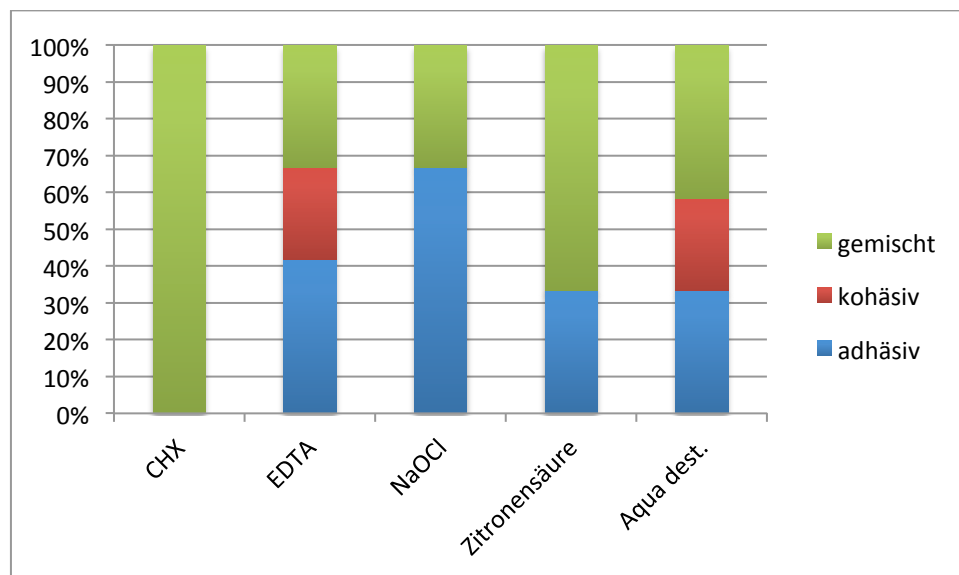


Abb. 17: Darstellung der Frakturmodi innerhalb der einzelnen Spülgruppen

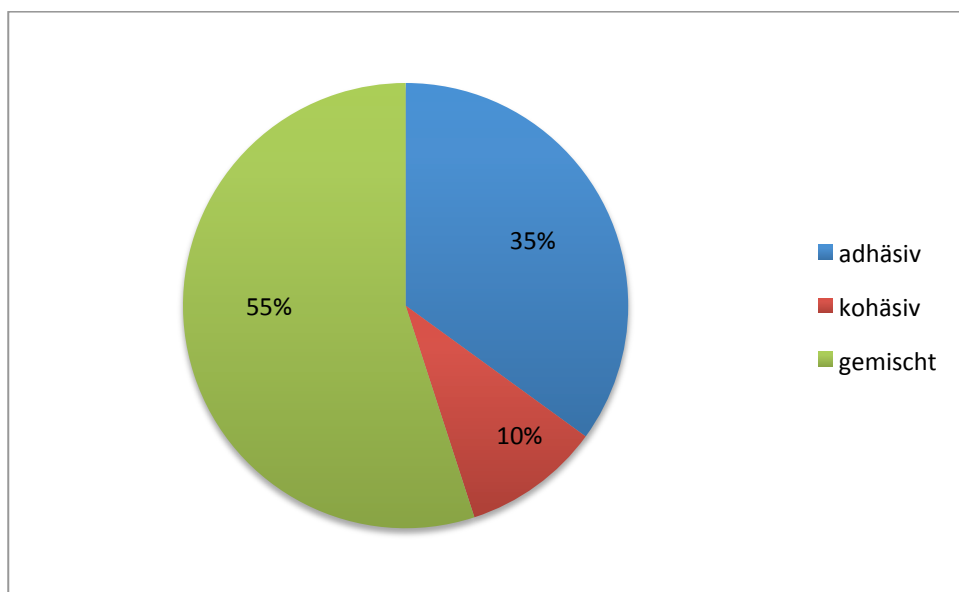


Abb. 18: Darstellung der Frakturmodi der gesamten Versuchsreihe

8 Diskussion

8.1 Diskussion der Methodik

8.1.1 Probenauswahl

Lagerung der Zähne und der Probelöcke

Bis zu Beginn des praktischen Abschnitts der Studie wurden die extrahierten Zähne in einer 0,5%-igen Chloramin-T-Lösung zwischengelagert. Hierbei ist die Zeit, die zwischen Extraktion und Versuchsdurchführung vergeht von untergeordneter Bedeutung bezüglich des Haftverbundes [79, 114]. Chloramin-T soll eine Desinfektion bewirken und eine Austrocknung der Probezähne verhindern [2]. Die Wahl des Aufbewahrungsmittels ergab sich dadurch, dass es im Gegensatz zu anderen Flüssigkeiten keine signifikante Auswirkung auf den Dentinhaftverbund hat [57, 67]. Mobarak et. al. fanden weiterhin heraus, dass das Zahnalter und die Dauer der Aufbewahrung im Chloramin-T ebenfalls keine Rolle im Bezug auf den Haftverbund spielen [80].

Die Probelöcke wurden bis zur Durchführung der Versuche und auch danach in Aqua dest. gelagert, um klinische Bedingungen zu schaffen. Wie Rolland et al. feststellten, nimmt nach einer zweitägigen Lagerung in Chloramin-T die Konzentration des Chloramins im Dentin zu, fällt jedoch wieder ab bei Lagerung in destilliertem Wasser und hat keine Beeinträchtigung auf die Haftwerte ergeben [96].

Ausschlusskriterien

Da in dieser Studie gekrümmte und ovale Kanalanatomien nicht untersucht werden sollten, wurden die Probezähne geröntgt um die Kanalverläufe darzustellen. Es folgte die Aussortierung der Zähne mit nicht passenden Kanalkriterien. Nach der Präparation und Aufbereitung mit vollrotierenden Instrumenten wurden die Zähne erneut geprüft, indem die Spreaderpassung manuell auf Klemmpassung (sog. tug-back) getestet wurden. Bei unzureichender Klemmpassung wurde wiederum aussortiert, da sonst die Haftflächen nicht zu vergleichen sind.

Um die einheitliche Arbeitslänge aller Spreader-Zahn-Einheiten zu überprüfen, wurden diese digital geröntgt und vermessen.

Instrumentierung

Die Aufbereitung erfolgte vollrotierend, um eine zentrierte, einheitliche, kreisrunde Kanalpräparation auf ISO 60 zu erzielen [113]. Grenze der Wurzelaufbereitung ist sowohl bei maschinell als auch manuellem Bearbeiten der Wurzelquerschnitt: ovale, großlumige Kanäle lassen sich nicht vollständig einheitlich aufbereiten, sodass eine Kongruenz zwischen Kanal und Stift resultieren würde.

Diese Zähne wurden ausgeschlossen [115]. Es sollten möglichst identische Dentinwandoberflächen geschaffen werden, sodass eine gleichmäßig starke Sealerschicht erreicht werden kann.

8.1.2 Einfluss der Sealerschichtstärke

Nach einheitlicher Aufbereitung der Probenzähne sollten durch gleichmäßige Sealerschichtstärken mögliche Schwankungen der Haftwerte minimiert werden. Es gibt unterschiedliche Techniken, um den Sealer zu applizieren.

Es wird das Einbringen mittels Papierspitze oder die Zuhilfenahme der letzten verwendeten Feile beschrieben, was laut einer Studie von Kahn et. al. allerdings zu schlechten Ergebnissen hinsichtlich der Dichtigkeit führt [58].

Der Sealer kann auch per Lentulo oder Masterpoint in den Kanal eingebracht werden, wobei es keine signifikanten Unterschiede in der Kanalwandbenetzung anhand dieser Methoden gibt. Es wurde daher von Said et. al. die Masterpointbeschickung empfohlen, da dies die einfachste Variante darstellt [100].

Die Viskosität des Materials spielt ebenfalls eine Rolle. So kann zu dick angemischter Sealer die Qualität der Wurzelkanalfüllung negativ beeinflussen [130, 132]. Besteht eine zu hohe Inkongruenz zwischen Kanalwand und Spreader, sodass die Sealerschichtstärke zunimmt, entstehen ebenfalls geringere Haftwerte [20]. Zu geringe Filmstärke schlägt sich jedoch auch in den Ergebnissen des Pullout-Versuchs nieder [16].

Um die Schwankungen der Sealerstärke zu minimieren, wurde in dem Versuch standardisierte Aufbereitungstechnik der Zähne sowie standardisierte Vorbereitung der Spreader durchgeführt.

Zum Einbringen des *Apexit Plus* wurde ein Lentulo benutzt und anschließend durch möglichst gleichmäßige manuelle Kraftanwendung der Spreader inseriert. Hier können Schwankungen entstanden sein, die die Schwankungen innerhalb der Gruppen erklären könnte.

8.1.3 Einflussfaktor Dentin

Die Eigenschaften Elastizität, Festigkeit, Benetzbarkeit, Härte und Permeabilität des menschlichen Dentins unterliegen vielen Faktoren. Diese ergeben sich hauptsächlich aus Mineralisationsgrad, Entstehungsform und Alter [74].

Dentin nimmt den größten Teil des Zahngewebes ein, sodass es die Hauptlast bei mechanischer Beanspruchung trägt und somit entscheidende Bedeutung für die Ergebnisse dieser Studie hat [50].

Der Mineralisationsgrad sowie der Wassergehalt spielen eine große Rolle im Bezug auf Frakturresistenz und Steifigkeit im Dentin. Hydriertes Dentin kann durch Biegung mehr Energie aufnehmen als dehydriertes Dentin bevor es zur Fraktur kommt [6].

Die Umsetzbarkeit, nur altersidentische Zähne zu verwenden, lässt sich kaum realisieren, weil die Verfügbarkeit solcher Zähne sehr eingeschränkt ist. Somit muss das Alter des Zahnes als Einflussfaktor berücksichtigt werden. Ermüdungsfrakturen erhöhen sich durch Dehydratation und Alterung [6].

Außerdem weisen gealterte Zähne einen höheren mineralischen Anteil im Dentin auf als junge Zähne. Dieses transparente Dentin zeigt deutlich anderes Deformationsverhalten als normales Dentin, obwohl sich der Elastizitätsmodul kaum unterscheidet [63].

Initialkaries induziert eine Reizdentinbildung, die sich lichtmikroskopisch sowohl tubulär als auch atubulär darstellt [81].

Auch der Vorgang der Extraktion führt zu Mikrorissen und damit zur Degradation der Dentinstruktur.

8.1.4 Methoden zur Untersuchung der Haftkräfte

Es werden folgende Methoden in der Literatur genannt, um den Haftverbund zu ermitteln:

- Pullout-Methoden (Zugversuche)
- Pushout-Methode (Ausstoßversuche)
- Microtensile-Verfahren (Miniaturauszugversuche)
- Shear bond strength-Methode (Scherversuche)

Pushout-Methode

Bei diesem Verfahren, welches 1970 erstmals von Richard H. Roydhouse beschrieben wurde, werden die präparierten und gefüllten Zähne in Scheiben transversal geschnitten [97]. Dadurch erhält man eine hohe Anzahl von Proben pro Zahn, anhand derer man Aussagen über die unterschiedlich charakteristischen Kanalabschnitte machen kann.

Ein zylindrischer Stempel belastet dann die Wurzelfüllung in apiko-koronaler Richtung parallel zur Klebefläche bis zum Versagen [14, 41]. Bei den gemessenen Belastungen treten keine Interferenzen von Zugkräften auf und die Scherkräfte wirken direkt auf den adhäsiven Grenzflächen [120].

Shear bond strength-Methode

Das zu untersuchende Material wird auf eine plane Zahnhartsubstanzfläche anhand einer Schablone aufpolymerisiert. Die Schablone soll eine einheitliche Dimension des Materialzylinders gewährleisten. Parallel zur Adhäsivgrenze wird diese dann belastet, bis es zum Versagen kommt [28].

Diese Methode ist zwar schnell und einfach durchzuführen und die eigenen Testergebnisse können aufgrund der zahlreichen, bereits durchgeführten Vergleichsstudien problemlos eingeordnet werden, allerdings traten bei einer Haftkraft von mehr als 15 MPa kohäsive Dentinausrisse auf.

Eine exakte Bewertung der Adhäsivfläche war daher nicht möglich [10, 44, 126]. Diese Testmethode ist für diese Studie eher ungeeignet und findet in der Adhäsivtechnik mit Kompositen die häufigste Anwendung.

Microtensile-Verfahren

Um beim Scherversuch häufig auftretende kohäsive Dentinfrakturen zu vermeiden, die aufgrund der mittlerweile erzielbaren hohen adhäsiven Haftkräfte der neueren Systeme entstehen, stellten Sano et. al. das Microtensile-Verfahren vor.

Auch bei diesem Verfahren wird Material auf eine plane Zahnhartsubstanzfläche aufpolymerisiert. Allerdings werden daraus dann weiterhin stäbchen- (*Microtensile-Verfahren A*) oder sanduhrförmige Proben (*Microtensile-Verfahren B*) durch Zersägen und Präparieren hergestellt. Die Form erlaubt nur eine kleine Grenzfläche zwischen Material und Zahnschubstanz, sodass es durch geeignetere Spannungsverteilung zur Ermüdung eben dieser Stelle führt [105].

In einer schraubstockartigen Prüfmaschine werden die entstandenen Klötzchen dann mit einer speziellen Technik an einer Transversen befestigt, die dann per Zugkraft den Verbund bis zum Versagen belastet [103].

Positiv ist die Materialersparnis, da aus einem Zahn viele Prüfklötzchen entstehen. Außerdem kann man dadurch die Zuverlässigkeit dieses Verfahrens überprüfen. Die Schwierigkeit liegt bei der Genauigkeit des Sägevorgangs und bei dem Umgang mit den sensiblen Prüfkörpern, da die Frakturgefahr während des Herstellungsprozesses der Proben sehr hoch ist.

Wie die Scherversuche werden die Microtensile-Verfahren A und B bei der Adhäsivtechnik eingesetzt und waren für diese Fragestellung eher ungeeignet.

Pullout-Versuch

Durch axiale Kräfte wurden am Spreader parallel zur Sealer-Dentin-Verbundfläche Scherkräfte gemessen. Die Belastung bezieht sich hierbei auf den gesamten Spreader und nicht, wie bei Pushout-Versuchen, nur auf einen Bruchteil der Klebefläche. Diese Vorgehensweise entspricht am ehesten der klinischen Situation.

Da bei dieser Methode nicht segmentiert wird, ist die Frakturgefahr viel geringer und man minimiert die Zahl der zu verwerfenden Prüfkörper. Zudem sind Artefakte im Rahmen der Probenherstellung ausgeschlossen. Es stehen viele Versuchsreihen zur Verfügung in denen die Pull-Out-Methode zur Messung des Haftverbundes zwischen Sealer und Wurzelentin gewählt wurde [17, 30, 128].

Dieses Verfahren erwies sich in der Probenherstellung als nicht destruktiv, sodass sich Artefakte minimieren lassen. Es wird als eine bewährte, standardisierte Methode zur Bestimmung des Haftverbundes bei Wurzelkanalstiften beschrieben [30, 60].

Aufgrund der geringen Haftwerte sowie der Tatsache, dass es sich bei dem untersuchten Sealer *Apexit Plus* um ein sprödes Material handelt, kommt die Pullout-Analyse diesem Material sehr entgegen.

8.1.5 Einfluss von Chelatoren

In zahlreichen Studien wird das Thema der Schmierschichtentfernung mittels Zitronensäure oder EDTA seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert. Es werden unterschiedliche Sealer und Spülprotokolle untersucht. Daraus ergeben sich sowohl Vorteile der Entfernung des Smearlayers [89, 109] als auch Nachteile [29, 39].

Fróes et al. machten deutlich, dass es auf die Wahl des Sealers ankommt, ob die Schmierschicht entfernt oder beibehalten werden sollte [37].

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der Sealer *Apexit Plus* nicht von der Entfernung der Schmierschicht profitiert, sondern im Gegenteil in der EDTA- und Zitronensäurespülgruppe die geringsten Haftwerte entstanden.

Bereits 1982 berichtet Pawlicka, dass Chelatoren die Mikrohärtigkeit von Dentin negativ beeinträchtigen. Bereits unmittelbar nach benetzen des Dentins kann sich die Vickers-Härte um 20 HV reduzieren [86]. Diesen Effekt beschreiben verschiedene Autoren, wobei die Erosionen mit einem Anstieg der Einwirkzeit über 3 Minuten drastisch zunehmen [1, 15, 21].

In einer weiteren Studie zeigte sich eine signifikante Abnahme der Dentinhärte bei alleiniger Spülung mit EDTA im Vergleich zu der Kombination aus EDTA und NaOCl [104].

Die geringen Haftwerte können also auch auf den Weichmachereffekt der Chelatoren zurückzuführen sein.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

8.2.1 Prüfung der Nullhypothesen

1. Verschiedene Spülungen haben keinen Einfluss auf den Haftverbund zwischen Wurzelkanaldentin und dem Sealer *Apexit Plus*.

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Die unterschiedlichen Spülungen hatten insgesamt signifikanten Einfluss auf den Haftverbund (Kruskal-Wallis Test $p=0,034$). Gruppe A (CHX) zeigte die höchsten Haftwerte, die sich signifikant zu Gruppe B (EDTA) unterschieden.

Einen signifikant höheren Haftverbund wies auch Gruppe E (Aqua dest.) im Vergleich zu Gruppe B (EDTA) auf (Mann-Whitney-Test $< 0,05$).

2. Die Spülung mit Chelatoren bewirkt keinen Unterschied im Bezug auf die Haftfestigkeit.

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Die Chelatorengruppen B und D erzielten die niedrigsten Haftwerte in dieser Studie (0,21 MPa und 0,36 MPa). Die Kraft, die in Gruppe B (EDTA) für das Versagen der Adhäsion zwischen Spreader und Dentin aufgebracht werden musste, betrug nicht mal die Hälfte der nötigen Kraft aus Kontrollgruppe E (Aqua dest., 0,45 MPa).

Nach Spülung aus der stärksten Gruppe A (CHX, 0,73 MPa) löste sich der Verbund erst nach doppelt so hoher Kraftaufwendung im Vergleich zu dem Chelator aus Gruppe D (Zitronensäure). Diese Gruppe kam ebenfalls nicht an die Haftwerte der Kontrollgruppe heran.

3. Der Frakturmodus ist nach erfolgtem Pull-Out-Test nach visueller Beurteilung in den experimentellen Gruppen identisch

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Die Verteilung der aufgetretenen Frakturmodi variierte zwischen den Spülgruppen erheblich.

In Gruppe A (CHX) traten ausschließlich gemischte Frakturen auf. Kohäsives Versagen kam lediglich in Gruppe B (EDTA) und E (Aqua dest.) vor, sodass man keine Gemeinsamkeit in der Chelatorengruppe feststellen konnte.

Innerhalb der Chelatorengruppen variierten die Ergebnisse: Bei Gruppe B überwogen die adhäsiven Brüche, wohingegen bei Gruppe D die gemischten vorherrschten. Insgesamt kamen gemischte Frakturen am häufigsten vor (55%). Danach folgten die adhäsiven Brüche zum Spreader (35%) und zum Schluß kamen die kohäsiven Frakturen mit 10%.

Die relativ glatte Stahloberfläche des Spreaders und die insgesamt eher niedrigen Haftwerte von *Apexit Plus* könnten die Ursache für die Adhäsionsfraktur sein. Die geringen Haftwerte sowie die Sprödhheit des Sealers *Apexit Plus* führten zudem zu einem Abstreifen der Sealerschicht auf dem Stahlspreader, so dass sich die adhäsiv zum Spreader erfolgten Frakturen begründen lassen. Die gemischte Fraktur kann auftreten, wenn trotz optimaler Zentrierungstechnik ein ungleichmäßiger Kontakt zwischen Spreader und Kanalwand das unregelmäßige Abstreifen des Sealers vom Spreader verursacht.

Die visuellen Untersuchungen der gemischten Frakturen ließen jedoch keine Gesetzmäßigkeit erkennen und variierten untereinander sehr.

Da Dentin unterschiedlichen Degradationseinflüssen unterliegt, ist die Kombination aus Struktur, Alter und Mineralisationsgrad eine mögliche Ursache für die verschiedenen Frakturmechanismen. Tubuläres Dentin verhält sich im Zusammenhang mit Spülungen und Sealer anders als atubuläres Dentin [6, 74, 85].

8.2.2 Haftwerte von *Apexit Plus*

Der Haftverbund von endodontischen Sealern wird seit Längerem umfassend untersucht [30, 103, 120]. Dass *Apexit Plus* und auch andere calciumsalicylatbasierten Sealer häufig schlechter abschneiden als andere gebräuchliche Sealer ist erwiesen [38, 42].

Insgesamt sind die Tests zum Prüfen der Adhäsivkräfte häufig unterschiedlich, sodass sich die Ergebnisse von Push-Out-Verfahren nicht direkt mit den Ergebnissen der Pull-Out-Verfahren vergleichen lassen.

Hashem et. al zeigten in einer Studie, dass eine alleinige Spülung mit EDTA ebenfalls zu schlechten Haftwerten eines Sealers führt. Sie erklärten dies damit, dass der Chelator zu einer Verminderung der Oberflächenspannung führt und die Benetzbarkeit durch den hydrophilen Sealer erschwert wird. [48].

8.2.3 Wirkstoff Chlorhexidindiglukonat

In dieser Studie ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Haftkraft von *Apexit Plus* nach Spülung mit CHX und der Haftkraft nach Spülung mit EDTA. Es wurde auch in zahlreichen anderen Studien belegt, dass Chlorhexidindiglukonat eine positive Wirkung auf die Haftkraft von Sealern hat. Allerdings wurde nicht der in dieser Arbeit untersuchte Sealer für die Versuche verwendet [19, 34, 48, 91].

Durch die Substantivität von Chlorhexidindiglukonat, die durch zweifach positive Ladung des Moleküls verursacht wird, kann eine Wechselwirkung mit den danach verwendeten Medikamenten ausgeprägt werden [73, 81].

Im Bezug auf den calciumsalicylatbasierten Sealer liegen allerdings nicht genügend Studien vor, die diese Kombination untersuchten.

9 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass *Apexit Plus* negativ auf den Einsatz von EDTA und Zitronensäure reagiert. Es resultieren die schlechtesten Haftwerte aller Versuchsgruppen aus dem Einsatz von Chelatoren.

Die besten Haftwerte wurden nach alleiniger Spülung mit Chlorhexidindiglukonat und mit Natriumhypochlorit erzielt. Insofern ist die Entfernung der Schmierschicht hier nicht als eine den Haftverbund steigernde Maßnahme zu sehen, weil die Nachteile der Spülung mit beiden Chelatoren hier mögliche Vorteile durch die Entfernung der Schmierschicht aufhebt.

Es wird deutlich, dass je nach Spülung unterschiedliche Verbundkräfte erreicht werden. Daher wird nicht empfohlen, bei Verwendung des calciumsalicylatbasierten Sealers *Apexit Plus* eine alleinige Spülung mit EDTA oder Zitronensäure zu wählen.

Die mögliche Verbesserung der Verbundkräfte nach Spülung mit CHX im Zusammenhang mit dem hier untersuchten Sealer war nicht Bestandteil dieser Studie, sodass eine Klärung der Frage nach dem idealen Spülprotokoll für *Apexit Plus* weiterer Untersuchung bedarf.

10 Literaturverzeichnis

1. Ari H, Erdemir A, Belli S (2004) Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *J Endod* 30:792-795
2. Arnitz R, Nagl M, Gottardi W (2009) Microbicidal activity of monochloramine and chloramine T compared. *J Hosp Infect* 73:164-170
3. Azar MR, Mokhtare M (2011) Rotary Mtwo system versus manual K-file instruments: efficacy in preparing primary and permanent molar root canals. *Indian J Dent Res* 22:363
4. Azar MR, Safi L, Nikaein A (2012) Comparison of the cleaning capacity of Mtwo and Pro Taper rotary systems and manual instruments in primary teeth. *Dent Res J (Isfahan)* 9:146-151
5. Badole GP, Warhadpande MM, Meshram GK et al. (2013) A comparative evaluation of cytotoxicity of root canal sealers: an in vitro study. *Restor Dent Endod* 38:204-209
6. Bajaj D, Sundaram N, Nazari A et al. (2006) Age, dehydration and fatigue crack growth in dentin. *Biomaterials* 27:2507-2517
7. Baumann A, Beer R (2007) *Farbatlant der Zahnmedizin - Endodontologie*. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart
8. Belli S, Erdemir A, Ozcopur M et al. (2005) The effect of fibre insertion on fracture resistance of root filled molar teeth with MOD preparations restored with composite. *Int Endod J* 38:73-80
9. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E (2009) Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J* 42:144-155
10. Braga RR, Meira JB, Boaro LC et al. (2010) Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. *Dent Mater* 26:e38-49
11. Brzovic V, Miletic I, Zeljezic D et al. (2009) In vitro genotoxicity of root canal sealers. *Int Endod J* 42:253-263
12. Brännström M (1984) Smear layer: pathological and treatment considerations. *Oper Dent Suppl* 3:35-42
13. Cobankara FK, Adanir N, Belli S et al. (2002) A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 35:979-984
14. Costa JA, Rached-Júnior FA, Souza-Gabriel AE et al. (2010) Push-out strength of methacrylate resin-based sealers to root canal walls. *Int Endod J* 43:698-706

15. Cruz-Filho AM, Sousa-Neto MD, Saquy PC et al. (2001) Evaluation of the effect of EDTAC, CDTA, and EGTA on radicular dentin microhardness. *J Endod* 27:183-184
16. D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F et al. (2007) The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent* 98:193-198
17. da Silva LM, Andrade AM, Machuca MF et al. (2008) Influence of different adhesive systems on the pull-out bond strength of glass fiber posts. *J Appl Oral Sci* 16:232-235
18. Dalton BC, Orstavik D, Phillips C et al. (1998) Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod* 24:763-767
19. de Assis DF, do Prado M, Simão RA (2012) Effect of disinfection solutions on the adhesion force of root canal filling materials. *J Endod* 38:853-855
20. De-Deus G, Coutinho-Filho T, Reis C et al. (2006) Polymicrobial leakage of four root canal sealers at two different thicknesses. *J Endod* 32:998-1001
21. De-Deus G, Paciornik S, Mauricio MH (2006) Evaluation of the effect of EDTA, EDTAC and citric acid on the microhardness of root dentine. *Int Endod J* 39:401-407
22. Deverin JM, Delzangles B (1986) [The smear layer. Current data on this iatrogenic endodontic residue]. *Chir Dent Fr* 56:29-36
23. DGZMK (1999) Stellungnahme Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *DZZ*
24. DGZMK (2001) Stellungnahme zum Thema Wurzelkanalaufbereitungen.
25. DGZMK (2005) Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ zum Thema Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. *DZZ* 60
26. DGZMK (2006) Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ zum Thema Wurzelkanalspülung. *DZZ* 10
27. Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O (2000) Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J* 33:46-52
28. Dickens SH, Milos MF (2002) Relationship of dentin shear bond strengths to different laboratory test designs. *Am J Dent* 15:185-192
29. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM et al. (1994) Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer. *J Endod* 20:78-82
30. Ebert J, Leyer A, Günther O et al. (2011) Bond strength of adhesive cements to root canal dentin tested with a novel pull-out approach. *J Endod* 37:1558-1561
31. Eldeniz AU, Mustafa K, Ørstavik D et al. (2007) Cytotoxicity of new resin-, calcium hydroxide- and silicone-based root canal sealers on fibroblasts derived from human gingiva and L929 cell lines. *Int Endod J* 40:329-337

32. Eldeniz AU, Ørstavik D (2009) A laboratory assessment of coronal bacterial leakage in root canals filled with new and conventional sealers. *Int Endod J* 42:303-312
33. Endodontology ESE (2006) Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 39:921-930
34. Erdemir A, Ari H, Güngüneş H et al. (2004) Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal dentin. *J Endod* 30:113-116
35. Fidel RA, Sousa Neto MD, Spanó JC et al. (1994) Adhesion of calcium hydroxide-containing root canal sealers. *Braz Dent J* 5:53-57
36. FKG D (2012) BioRaCe-Anleitung Schritt für Schritt.
37. Fróes JA, Horta HG, da Silveira AB (2000) Smear layer influence on the apical seal of four different obturation techniques. *J Endod* 26:351-354
38. Gaddala N, Veeramachineni C, Tummala M (2015) Effect of Peracetic Acid as A Final Rinse on Push Out Bond Strength of Root Canal Sealers to Root Dentin. *J Clin Diagn Res* 9:ZC75-77
39. Galvan DA, Ciarlone AE, Pashley DH et al. (1994) Effect of smear layer removal on the diffusion permeability of human roots. *J Endod* 20:83-86
40. George S, Kishen A, Song KP (2005) The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *J Endod* 31:867-872
41. Gesi A, Raffaelli O, Goracci C et al. (2005) Interfacial strength of Resilon and gutta-percha to intraradicular dentin. *J Endod* 31:809-813
42. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME (1991) Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 17:15-20
43. Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS (2001) A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J* 34:476-484
44. Goracci C, Grandini S, Bossù M et al. (2007) Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: a review. *J Dent* 35:827-835
45. Grossman L (1982) Obturation of root canal. *Endodontic Practice*, vol 297. Lea & Febiger, Philadelphia
46. Guelzow A, Stamm O, Martus P et al. (2005) Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 38:743-752
47. Gängler P, Hoffmann T (2010) Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart

48. Hashem AA, Ghoneim AG, Lutfy RA et al. (2009) The effect of different irrigating solutions on bond strength of two root canal-filling systems. *J Endod* 35:537-540
49. Heidemann D (2001) *Endodontie - Praxis der Zahnheilkunde*. Urban & Fischer München, 4. Auflage, 1-24, 79-122.
50. Hellwig E, Klimek J, Attin T (2009) *Einführung in die Zahnerhaltung*. Deutscher Zahnärzte Verlag
51. Herbert J, Bruder M, Braunsteiner J et al. (2009) Apical quality and adaptation of Resilon, EndoREZ, and Guttaflow root canal fillings in combination with a noncompaction technique. *J Endod* 35:261-264
52. Hermann, BW (1920) Calciumhydroxid als Mittel zum Behandeln und Füllen von Wurzelkanälen. *Med. Diss Würzburg*
53. Huang TH, Lee H, Kao CT (2001) Evaluation of the genotoxicity of zinc oxide eugenol-based, calcium hydroxide-based, and epoxy resin-based root canal sealers by comet assay. *J Endod* 27:744-748
54. Hülsmann M (2008) *Checklisten der Zahnmedizin- Endodontie*. Georg-Thieme-Verlag KG Stuttgart
55. Hülsmann M, Schäfer E, Petschelt A et al. (2004) Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung. *DZZ* 60 (2005) 8
56. Jacobsen EL, BeGole EA, Vitkus DD et al. (1987) An evaluation of two newly formulated calcium hydroxide cements: a leakage study. *J Endod* 13:164-169
57. Jaffer S, Oesterle LJ, Newman SM (2009) Storage media effect on bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:83-86
58. Kahn FH, Rosenberg PA, Schertzer L et al. (1997) An in-vitro evaluation of sealer placement methods. *Int Endod J* 30:181-186
59. Kaur A, Shah N, Logani A et al. (2015) Biototoxicity of commonly used root canal sealers: A meta-analysis. *J Conserv Dent* 18:83-88
60. Khoroushi M, Kachuei M (2014) Pull-out bond strength of a self-adhesive resin cement to NaOCl-treated root dentin: effect of antioxidizing agents. *Restor Dent Endod* 39:95-103
61. Khullar P, Raisingani D, Gupta S et al. (2013) A survey report on effect of root canal fillings and coronal restorations on the periapical status of endodontically treated teeth in a selected group of population. *Int J Clin Pediatr Dent* 6:89-94
62. Kim YK, Grandini S, Ames JM et al. (2010) Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod* 36:383-399
63. Kinney JH, Nalla RK, Pople JA et al. (2005) Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. *Biomaterials* 26:3363-3376

-
64. Konjhodzic-Preic A, Jakupovic S, Hasic-Brankovic L et al. (2015) Evaluation of Biocompatibility of Root Canal Sealers on L929 Fibroblasts with Multiscan EX Spectrophotometer. *Acta Inform Med* 23:135-137
 65. Koçkapan C (1987) [Electron microscopic study on the structure of the smear layer]. *Dtsch Zahnärztl Z* 42:1028-1034
 66. Kröncke A (1981) [Root canal preparation as a prerequisite for applying filling material]. *Dtsch Zahnärztl Z* 36:201-207
 67. Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook A et al. (2007) Using extracted teeth for research: the effect of storage medium and sterilization on dentin bond strengths. *J Am Dent Assoc* 138:1599-1603
 68. Leonardo MR, Leal JM, Simões Filho AP (1980) Pulpectomy: immediate root canal filling with calcium hydroxide. Concept and procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 49:441-450
 69. Lertchirakarn V, Timyam A, Messer HH (2002) Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Endod* 28:217-219
 70. Machian GR, Peters DD, Lorton L (1982) The comparative efficiency of four types of endodontic instruments. *J Endod* 8:398-402
 71. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD (1984) Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod* 10:477-483
 72. Mai S, Kim YK, Hiraishi N et al. (2009) Evaluation of the true self-etching potential of a fourth generation self-adhesive methacrylate resin-based sealer. *J Endod* 35:870-874
 73. Marley JT, Ferguson DB, Hartwell GR (2001) Effects of chlorhexidine gluconate as an endodontic irrigant on the apical seal: short-term results. *J Endod* 27:775-778
 74. Marshall GW, Marshall SJ, Kinney JH et al. (1997) The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 25:441-458
 75. McComb D, Smith DC (1975) A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod* 1:238-242
 76. McGurkin-Smith R, Trope M, Caplan D et al. (2005) Reduction of intracanal bacteria using GT rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and Ca(OH)₂. *J Endod* 31:359-363
 77. Mickel AK, Chogle S, Liddle J et al. (2007) The role of apical size determination and enlargement in the reduction of intracanal bacteria. *J Endod* 33:21-23
 78. Miletić I, Ribarić SP, Karlović Z et al. (2002) Apical leakage of five root canal sealers after one year of storage. *J Endod* 28:431-432

-
79. Mitchem JC, Gronas DG (1986) Effects of time after extraction and depth of dentin on resin dentin adhesives. *J Am Dent Assoc* 113:285-287
 80. Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH et al. (2010) Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. *J Prosthet Dent* 104:92-97
 81. Mohammadi Z, Abbott PV (2009) Antimicrobial substantivity of root canal irrigants and medicaments: a review. *Aust Endod J* 35:131-139
 82. Mokhtari H, Shahi S, Janani M et al. (2015) Evaluation of apical leakage in root canals obturated with three different sealers in presence or absence of smear layer. *Iran Endod J* 10:131-134
 83. Mutoh N, Satoh T, Watabe H et al. (2013) Evaluation of the biocompatibility of resin-based root canal sealers in rat periapical tissue. *Dent Mater J* 32:413-419
 84. Orstavik D (1983) Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scand J Dent Res* 91:316-319
 85. Pashley D, Walton R (1994) Histology and physiology of the dental pulp. *Endodontics*. 320-354
 86. Pawlicka H (1982) Verwendung der Chelatverbindungen zur Erweiterung der Wurzelkanäle: Mikrohärteuntersuchung. *Stomatol DDR* 32:355-361
 87. Peters OA, Boessler C, Paqué F (2010) Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. *J Endod* 36:1068-1072
 88. Petschelt A, Oberschachtsiek H (1985) [Smear layer after root canal preparation (SEM studies)]. *Dtsch Zahnärztl Z* 40:845-849
 89. Pintor AV, Dos Santos MR, Ferreira DM et al. (2016) Does Smear Layer Removal Influence Root Canal Therapy Outcome? A Systematic Review. *J Clin Pediatr Dent* 40:1-7
 90. Plotino G, Grande NM, Tocci L et al. (2014) Influence of Different Apical Preparations on Root Canal Cleanliness in Human Molars: a SEM Study. *J Oral Maxillofac Res* 5:e4
 91. Prado M, Simão RA, Gomes BP (2013) Effect of different irrigation protocols on resin sealer bond strength to dentin. *J Endod* 39:689-692
 92. Prestegård H, Portenier I, Ørstavik D et al. (2014) Antibacterial activity of various root canal sealers and root-end filling materials in dentin blocks infected ex vivo with *Enterococcus faecalis*. *Acta Odontol Scand* 72:970-976
 93. Ramezanali F, Afkhami F, Soleimani A et al. (2015) Comparison of Cleaning Efficacy and Instrumentation Time in Primary Molars: Mtwo Rotary Instruments vs. Hand K-Files. *Iran Endod J* 10:240-243

94. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH (1989) Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 15:512-516
95. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A et al. (2007) Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod* 33:31-33
96. Rolland SL, Carrick TE, Walls AW et al. (2007) Dentin decontamination using chloramine T prior to experiments involving bacteria. *Dent Mater* 23:1468-1472
97. Roydhouse RH (1970) Punch-shear test for dental purposes. *J Dent Res* 49:131-136
98. Rôças IN, Lima KC, Siqueira JF (2013) Reduction in bacterial counts in infected root canals after rotary or hand nickel-titanium instrumentation--a clinical study. *Int Endod J* 46:681-687
99. Rödiger T, Hülsmann M, Nordmeyer S et al. (2009) Grundlagen der modernen Endodontie. Spitta Verlag, Balingen
100. Said HM, Bakar WZ, Farea M et al. (2012) The effect of different sealer placement techniques on sealing Ability: An in vitro study. *J Conserv Dent* 15:257-260
101. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo MP et al. (2003) Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *J Endod* 29:595-601
102. Salz U, Poppe D, Sbicego S et al. (2009) Sealing properties of a new root canal sealer. *Int Endod J* 42:1084-1089
103. Sano H, Shono T, Sonoda H et al. (1994) Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 10:236-240
104. Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC et al. (2007) The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104:418-424
105. Scherrer SS, Cesar PF, Swain MV (2010) Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. *Dent Mater* 26:e78-93
106. Schäfer E, Lohmann D (2002) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 35:505-513
107. Schäfer E, Lohmann D (2002) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 35:514-521

108. Sevimay S, Kalayci A (2005) Evaluation of apical sealing ability and adaptation to dentine of two resin-based sealers. *J Oral Rehabil* 32:105-110
109. Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR (2006) Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: a two-month longitudinal ex vivo study. *Int Endod J* 39:968-976
110. Shipper G, Ørstavik D, Teixeira FB et al. (2004) An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). *J Endod* 30:342-347
111. Sipert CR, Hussne RP, Nishiyama CK et al. (2005) In vitro antimicrobial activity of Fill Canal, Sealapex, Mineral Trioxide Aggregate, Portland cement and EndoRez. *Int Endod J* 38:539-543
112. Sleder FS, Ludlow MO, Bohacek JR (1991) Long-term sealing ability of a calcium hydroxide sealer. *J Endod* 17:541-543
113. Stavileci M, Hoxha V, Görduysus Ö et al. (2013) Effects of preparation techniques on root canal shaping assessed by micro-computed tomography. *Med Sci Monit Basic Res* 19:163-168
114. Söderholm KJ (1991) Correlation of in vivo and in vitro performance of adhesive restorative materials: a report of the ASC MD156 Task Group on Test Methods for the Adhesion of Restorative Materials. *Dent Mater* 7:74-83
115. Taha NA, Ozawa T, Messer HH (2010) Comparison of three techniques for preparing oval-shaped root canals. *J Endod* 36:532-535
116. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y et al. (1999) A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J* 32:32-39
117. Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Hotta J et al. (2008) Antimicrobial activity of endodontic sealers based on calcium hydroxide and MTA. *Acta Odontol Latinoam* 21:147-151
118. Tay FR, Pashley DH (2007) Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. *J Endod* 33:391-398
119. Taşdemir T, Aydemir H, Inan U et al. (2005) Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J* 38:402-408
120. Teixeira CS, Alfredo E, Thomé LH et al. (2009) Adhesion of an endodontic sealer to dentin and gutta-percha: shear and push-out bond strength measurements and SEM analysis. *J Appl Oral Sci* 17:129-135
121. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W (1997) Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 3. Resistance to bending and fracture. *J Endod* 23:141-145
122. Timpawat S, Amornchat C, Trisuwan WR (2001) Bacterial coronal leakage after obturation with three root canal sealers. *J Endod* 27:36-39

123. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA et al. (2002) Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 94:658-666
124. Torneck CD, Moe H, Howley TP (1983) The effect of calcium hydroxide on porcine pulp fibroblasts in vitro. *J Endod* 9:131-136
125. Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G et al. (1981) pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endod* 7:17-21
126. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC et al. (1989) A critique of bond strength measurements. *J Dent* 17:61-67
127. von Fraunhofer JA, Branstetter J (1982) The physical properties of four endodontic sealer cements. *J Endod* 8:126-130
128. Webber MB, Michida SM, Marson FC et al. (2015) Analysis of bond strength by pull out test on fiber glass posts cemented in different lengths. *J Int Oral Health* 7:7-12
129. Wilson AD, Clinton DJ, Miller RP (1973) Zinc oxide-eugenol cements. IV. Microstructure and hydrolysis. *J Dent Res* 52:253-260
130. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR (1994) Leakage of four root canal sealers at different thickness. *Int Endod J* 27:304-308
131. Wu MK, Tigos E, Wesselink PR (2002) An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer, RSA RoekoSeal: a leakage study in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 94:499-502
132. Wu MK, Wesselink PR, Boersma J (1995) A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 28:185-189
133. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R et al. (1996) Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod* 22:27-29
134. Yilmaz Z, Dogan AL, Özdemir O et al. (2012) Evaluation of the cytotoxicity of different root canal sealers on L929 cell line by MTT assay. *Dent Mater J* 31:1028-1032
135. Zehnder M, Lehnert B, Schönenberger K et al. (2003) Spüllösungen und medikamentöse Einlagen in der Endodontie. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 01/2003; 113
136. Zmener O, Dominguez FV (1983) Tissue response to a glass ionomer used as an endodontic cement. A preliminary study in dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 56:198-205

11 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Abb.	Abbildung
AL	Arbeitslänge
Aqua dest.	Destilliertes Wasser
CHX	Chlorhexidindiglukonat
Ca(OH) ₂	Calciumhydroxid
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ESE	European Society of Endodontology
F	Kraft
HB	Brinellhärte
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
ISO	International organization of standardization
min	Minute
mm	Millimeter
MW	Mittelwert
MPa	Megapascal
N	Newton
NaOCl	Natriumhypochlorit
Ncm	Newton Zentimeter
Upm	Umdrehungen pro Minute
#	Größe
°	Grad
%	Prozent

12 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Grundformen der Handinstrumente zur Aufbereitung des Wurzelkanals mit Darstellung des Schneidekantenwinkels; aus Hellwig E. / Klimek J. / Attin T.: Einführung in die Zahnerhaltung (2009)

Abb. 2: *BioRaCe* - Basic Set und *BioRaCe* - Extended Set, inkl. Farb- und Schaftcodierung, sowie Taper-, ISO- und Längenangaben (FKG Dentaire).

Abb. 3: Flowchart des Versuchaufbaus

Abb. 4: *BioRaCe*-Feilen-Basis-Set

Abb. 5: Normierung der Spreader auf ISO 60 mittels Messlehre

Abb. 6: Anpassen der Spreader

Abb. 7 Entgraten der Spreader

Abb. 8 Schema der Universalprüfmaschine

Abb. 9: Ergebnisse der Haftwerte von *Apexit Plus*

Abb. 10: Frakturschema eines kohäsiven Bruchs

Abb. 11: Frakturschema eines adhäsiven Bruchs zum Spreader

Abb. 12: Frakturschema eines adhäsiven Bruchs zum Dentin

Abb. 13 Frakturschema eines gemischten Bruchs

Abb. 14: Exemplarische Darstellung des kohäsiven Frakturmodus (Gruppe E, Probe 1)

Abb. 15: Exemplarische Darstellung des adhäsiven Frakturmodus (Gruppe B, Probe 2)

Abb. 16: Exemplarische Darstellung des gemischten Frakturmodus (Gruppe D, Probe 6)

Abb. 17: Darstellung der Frakturmodi innerhalb der einzelnen Spülgruppen

Abb. 18: Darstellung der Frakturmodi der gesamten Versuchsreihe

Tab. 1: Wurzelkanalspülungen und ihre Eigenschaften

Tab. 2: Übersicht der Wurzelfüllmaterialien

Tab. 3: Inhaltsstoffe des verwendeten Sealers

Tab. 4 Spül- und Füllprotokoll

Tab. 5 Einstellung der Zwick-Universalprüfmaschine

Tab. 6: Ergebnisse für die Haftwerte der einzelnen Gruppen

Tab. 7: Signifikanzwerte nach statistischer Analyse mittels Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-Test

Tab. 8: Prozentuale Verteilung der Frakturmodi

13 Anhang

Materialliste

Artikel	Hersteller
Chloramin-T-Lösung 0,5%	Wissenschaftliches Labor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, Philipps-Universität Marburg
Scaler	Hu-Friedy, Leimen
Blaues und rotes Winkelstück	KaVO, Biberach
Skalpell No. 15	B.Braun, Melsungen
Experimentelle Spreader	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Diamantschleifer, Rotring	Meisinger, Düsseldorf
Sandpapier Körnung 180	Struers, Dänemark
Messlehre (Gutta Gauge)	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
<i>Rocatec</i>	3M ESPE, Seefeld
Spülkanüle	V.M.K. Endoneedle "Dr. J. Buquet", Vedefar, Dilbeek, Belgien
C-Pilot Feilen ISO 15	VDW, München
<i>BioRaCe</i> Feilensystem	FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
NaOCl 3%	Speiko, Münster
Aqua dest.	B.Braun, Melsungen
EDTA 16%	Apotheke des UKGM, Marburg
Zitronensäure 40%	Apotheke des UKGM, Marburg
CHX 2%	Apotheke des UKGM, Marburg
Papierspitzen	Roeko, Langenau
<i>Apexit Plus</i>	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Mikroretentionsgefäß „Eppendorfggefäß“	Eppendorf, Hamburg
<i>Zwick</i> Universalprüfmaschine 1120	Zwick-Roell, Ulm
Digitalspiegelreflexkamera Canon EOS 500D, Micro-Objektiv Canon MP-E 65	Canon Inc., Tokyo, Japan
Rasterelektronenmikroskop Phenom G1	Phenom World, Eindhoven, Niederlande

Spreaderauswertung

CHX 2% (Gruppe A)	
Probennummer	Frakturmodus
1	Gemischt
2	Gemischt
3	Gemischt
4	Gemischt
5	Gemischt
6	Gemischt
7	Gemischt
8	Gemischt
9	Gemischt
10	Gemischt
11	Gemischt
12	Gemischt

EDTA 16% (Gruppe B)	
Probennummer	Frakturmodus
1	Adhäsiv zum Spreader
2	Adhäsiv zum Spreader
3	Adhäsiv zum Spreader
4	Adhäsiv zum Spreader
5	Adhäsiv zum Spreader
6	Gemischt
7	Gemischt
8	Kohäsiv
9	Kohäsiv
10	Gemischt

11	Kohäsiv
12	Gemischt

NaOCL 3 % (Gruppe C)	
Probennummer	Frakturmodus
1	Adhäsiv zum Spreader
2	Adhäsiv zum Spreader
3	Adhäsiv zum Spreader
4	Gemischt
5	Gemischt
6	Adhäsiv zum Spreader
7	Adhäsiv zum Spreader
8	Gemischt
9	Gemischt
10	Adhäsiv zum Spreader
11	Adhäsiv zum Spreader
12	Adhäsiv zum Spreader

Zitronensäure 40% (Gruppe D)	
Probennummer	Frakturmodus
1	Adhäsiv zum Spreader
2	Adhäsiv zum Spreader
3	Gemischt
4	Gemischt
5	Gemischt
6	Gemischt
7	Gemischt
8	Gemischt

9	Gemischt
10	Adhäsiv zum Spreader
11	Gemischt
12	Adhäsiv zum Spreader

Aqua dest. (Gruppe E)	
Probennummer	Frakturmodus
1	Kohäsiv
2	Adhäsiv zum Spreader
3	Kohäsiv
4	Gemischt
5	Gemischt
6	Kohäsiv
7	Adhäsiv zum Spreader
8	Gemischt
9	Gemischt
10	Adhäsiv zum Spreader
11	Gemischt
12	Adhäsiv zum Spreader

14 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer an der Philipps-Universität Marburg waren folgende Professoren und Dozenten:

Adamkiewicz, Arweiler, Braun, Cetin, Czubayko, Feuser, Frankenberger, Gloerfeld, Gente, Grundmann, Henn, Höffken, Jablonski-Momeni, Korbmacher-Steiner, Lill, Lotzmann, Mengel, Mittag, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Pieper, Ramaswamy, Richter, Roggendorf, Schwarting, Seitz, Steiniger, Teymoortash, Weber, Weihe, Wrocklage

15 Danksagung

Zunächst danke ich sehr herzlich Herrn Professor Dr. Roland Frankenberger für die Möglichkeit, in seiner Abteilung, der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, die Promotion durchführen zu können.

Ein besonderer Dank gilt Herrn OA Priv.-Doz. Dr. Matthias J. Roggendorf für die Anregung zur Bearbeitung dieses Themas, für die gute Unterstützung im experimentellen Teil dieser Studie, die Ausführung der statistischen Auswertung und für die Durchsicht des Manuskripts.

Herrn Dr. Franz-Josef Faber und Herrn Dr. Hubert C. Roggendorf danke ich für die Unterstützung in der Durchführung des experimentellen Teils, sowie für die Möglichkeit, die Zwick-Universalprüfmaschine an der Universität Köln verwenden zu können.

Bei meinen Eltern, meiner Oma und meinen Schwiegereltern bedanke ich mich für ihre motivierenden Worte, die Unterstützung und die offenen Ohren, die sie während des Studiums immer für mich gehabt haben.

Dank geht auch an Dr. Dieter Melcher und Tanja Scheller-Jacoby, die mich zur Zahnmedizin gebracht und mich auf dem langen Weg ein Stück begleitet haben.

Martin. Danke, dass du an mich glaubst und an meiner Seite bist.